

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vliv prolití štěrkového lože organicko-minerální pryskyřicí

Impact of the Shedding Using Organo-Mineral Resin on the Gravel Bed

Student:

Bc. Lucie Klímková

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lucie Klímková**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T035 Geotechnika  
Téma: **Vliv prolití šterkového lože organicko-minerální pryskyřicí**  
**Impact of the Shedding Using Organo-Mineral Resin on the Gravel Bed**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Úvod, definice řešené problematiky
2. Metody zlepšování podloží se zaměřením na prolévání pryskyřicemi
3. Technologie provádění prolévání, vlastnosti pryskyřic (se zaměřením na Geoflex BB) a podloží, zkoušky vlastností (laboratorní a in-situ),
4. Vyhodnocení dosažených výsledků (porovnání zlepšení vlastností podloží bez a po prolití)
5. Závěr

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] LAHUTA, H. *Doc.Dr.Ing.Hynek Lahuta - Informační stránka* [online]. 2005, poslední revize 25.5.2010. Dostupné z: <[www.fast.vsb.cz/lahuta](http://www.fast.vsb.cz/lahuta)>
- [2] ČSN EN 1997-1 : 2006. *Eurokód 7 - Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 138 s.
- [3] ČSN EN 1997-2 : 2008. *Eurokód 7 - Navrhování geotechnických konstrukcí – část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 152 s.
- [4] MASOPUST, J.: *Navrhování základových a pažicích konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1997*. Brno: Informační centrum ČKAIT, 2012. 220 s. ISBN 978-80-87438-31-2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 30.11.2017

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci využít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že využít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

## Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na využívání organicko-minerální pryskyřice ke zlepšování stability štěrkového lože. Pomyslně lze obsah rozdělit na dvě části. První část je teoretická a obecně pojednává o pryskyřicích a jejich různorodém využití. Podrobněji je popsán materiál Geoflex BB včetně vlastního složení, vlastností a použití v praxi. Druhá část je praktická a uvádí také výsledky zkoušek prováděných na štěrkovém loži, které bylo prolito právě organicko-minerální pryskyřicí Geoflex BB. Závěr je soustředěn na porovnání vlastností prolitého štěrkového lože s ložem neprolitým.

Klíčová slova: prolití, štěrkové lože, pryskyřice, Geoflex BB, ballast bonding

## Annotation

This thesis is focused on using organo-mineral resin on the gravel bed. Notionally, the content can be divided into two parts. The first part is theoretical and includes the basic characteristics and information about resins and their various usage. There is the detailed description of material Geoflex BB, its composition, qualities and practical application. In the second part, the thesis is practical and also deals with comparing qualities of the unchanged gravel bed and gravel bed after ballast bonding. The thesis includes practical example related to the discussed topics.

Key words: shedding, gravel bed, resin, Geoflex BB, ballast bonding

## Vzor citace:

KLÍMKOVÁ, L.: Vliv prolití štěrkového lože organicko-minerální pryskyřicí, Ostrava, VŠB – TU Ostrava, 2017.

## **Poděkování**

Mé poděkování patří doc. Dr. Ing. Hynku Lahutovi za odborné vedení, cenné rady a ochotu při zpracování diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Stefanu Sukenikovi a Ing. Romanu Markovi, PhD. z firmy Minova za užitečné informace a vstřícný přístup. Velký dík patří Ing. Marku Mohylovi, PhD. a také Ivu Knápkovi za ochotu a asistenci při provádění zkoušek.

# Obsah

1. Úvod.....	1
2. Metody zlepšování podloží se zaměřením na prolévání pryskyřicemi .....	3
2.1 Způsoby zlepšování vlastností podloží.....	3
2.2 Princip prolévání štěrkového lože pryskyřicí Geoflex BB .....	4
3. Technologie provádění prolévání .....	6
3.1 Zásady.....	7
3.2 Pryskyřice, Geoflex BB a jeho vlastnosti .....	9
3.3 Vlastnosti kolejového štěrkového lože .....	12
3.4 Zkoušky vlastností .....	16
3.4.1 Geoflex BB .....	17
3.4.2. Kolejové štěrkové lože.....	17
3.5 Praktický příklad použití metody ballast bonding.....	19
4. Praktická část včetně vyhodnocení dosažených výsledků .....	22
4.1 Zkouška ovlivnění průtočnosti vody .....	23
4.1.1 Provedení a průběh zkoušky .....	23
4.1.2 Výsledek .....	27
4.2 Zkouška únosnosti statickou zatěžovací deskou .....	37
4.2.1 Provedení a průběh zkoušky .....	37
4.2.2 Výsledek .....	38
5. Závěr .....	43
6. Seznam použitých pramenů .....	46

# 1. Úvod

Syntetické pryskyřice našly ve stavebnictví široké uplatnění. V geotechnickém oboru zejména pro lepení, injektáže, zpevňování či stabilizaci. Od počátku nového tisíciletí se začala používat metoda prolévání. Konkrétně zde jde o stabilizaci a prolepení šterkového lože pryskyřicemi. Hlavním důvodem vzniku této technologie byla nutnost přizpůsobit šterkové kolejové lože rychlejší a modernější železniční dopravě. Od svého vzniku prošla železniční doprava mnoha proměnami a mimo zlepšení komfortu jízdy došlo také k navýšení objemu přepravovaného nákladu i počtu cestujících. Narůstající zatížení a rychlost zapříčinily potřebné vylepšení stávajících technických a technologických řešení. S ohledem na tyto změny bylo nutné upravit také bezpečnostní opatření s tím související. Při průjezdu vysokorychlostních vlaků se v důsledku turbulence způsobené vysokou rychlostí uvolňovaly menší částice šterku. Právě tyto částice představují vyšší riziko nehody vlaků jedoucích v protisměru. Řešení tohoto problému je možné právě pomocí prolití. [8, 17]



Obr. 1: Ballast bonding, aplikace pryskyřice Geoflex BB [18]

Prolévání šterkového lože neboli ballast bonding (z angl. ballast – podkladový šterk pod vozovkou či železnicí, bonding – spojování) se zásadně liší od injektáže. Při injektáži jsou dutiny mezi částicemi zcela vyplněny, a proto je používána k těsnění hrází či horninového masivu. Při prolití se pryskyřice kumuluje v místech styku kameniva a vytváří zde pevné spojení. Část povrchového nástriku přilne na povrchu šterkového lože a zbylá část proteče



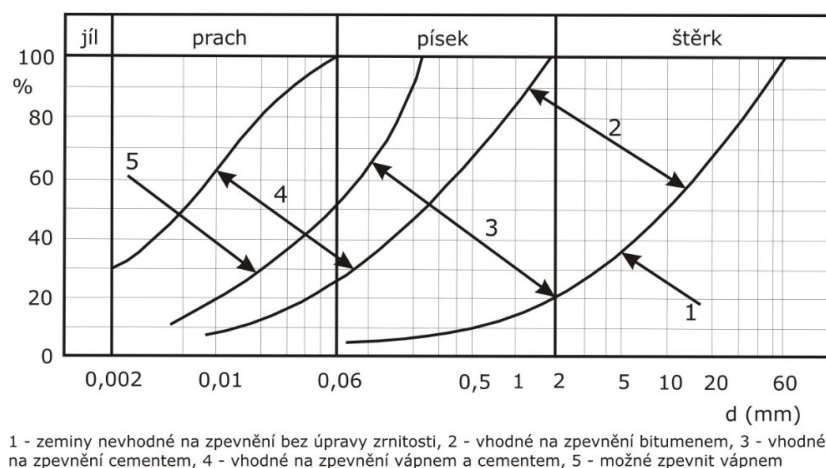
gravitačně hlouběji. Částice se nepřeskupují, jsou slepením zafixovány a jejich umístění je stejné jako před prolitím. Na rozdíl od injektáže je struktura zcela propustná pro odvod srážkové vody.

Technologie ballast bonding byla dosud úspěšně použita nejen v zahraničních státech, ale také v České republice. Poprvé krátce po roce 2000. Pro své široké uplatnění může být metoda aplikována například pro přechodové zóny tratí na mostech či do tunelů, úzké rovné tratě nevyjímaje. Účelem použití bývá stabilizace, ochrana před rozvolněním šterkového lože, zachování struktury, zvýšení odolnosti, zlepšení rozložení zatížení, neovlivnění propustnosti, usnadnění čištění, údržby a ochrana proti vandalismu. [19]

Diplomová práce se bude soustředit zejména na materiál Geoflex BB. Je to dvousložková elastifikovaná organicko-minerální pryskyřice s krátkou reakční dobou, je nenapěňující a nízkoviskózní. Je možné ji výhodně použít právě na již zmíněný ballast bonding, tedy zpevnění a stabilizaci volného materiálu gravitačním prolitím. Mimo jiné je vhodná také pro injektáž a zpevnění horninového masivu, zpevňování stavebních konstrukcí (gabionové stěny), stabilizování nezpevněných komunikací, ochranu před erozí a zpevnění kontaktu přechodu kolejového lože s pevnou jízdní dráhou. Při aplikaci je nutné dodržovat technologický postup, který se musí vhodně přizpůsobit místním podmínkám. Životnost materiálu přesahuje dvacet let. V případě nutnosti je možné bez problémů prolepený šterk rozpojit a následně znovu ztuhnout. Z ekologického hlediska je zatvrdlý Geoflex BB neškodlivý pro životní prostředí a bez rizika kontaminace podzemních vod. [1, 16, 18]

## 2. Metody zlepšování podloží se zaměřením na prolévání pryskyřicemi

K úpravě zemin docházelo již ve starověku. Například v oblasti Mezopotámie na blízkém východě. Lidé se snažili pomocí dostupných materiálů zvýšit odolnost a trvanlivost svých staveb a konstrukcí. K izolaci byl používán přírodní asphalt a rohože z vrbového proutí sloužily jako vyztužení. Dnes už existuje mnoho způsobů, jak dokážeme zlepšit vlastnosti podloží, aby to bylo výhodné. Obecným důvodem, proč je občas nutné uchýlit se k úpravě podloží jsou stále náročnější požadavky staveb a společnosti. Cílem je posunutí hranic mezního stavu únosnosti a mezního stavu použitelnosti. V konkrétních případech se může jednat o požadavky na: zvýšení pevnosti a únosnosti, zmenšení deformací, dokonalejší nepropustnost, snížení tíhy příliš těžkých násypů, objemovou stálost a v rámci ochrany životního prostředí se lze setkat i s vyžadováním dekontaminace. Výhodou existence zdokonalování vlastností podloží je bezesporu možnost stavět náročnější a modernější konstrukce.



Obr. 2: Příklad rozsahu použití pojiv pro úpravu zemin [6]

### 2.1 Způsoby zlepšování vlastností podloží

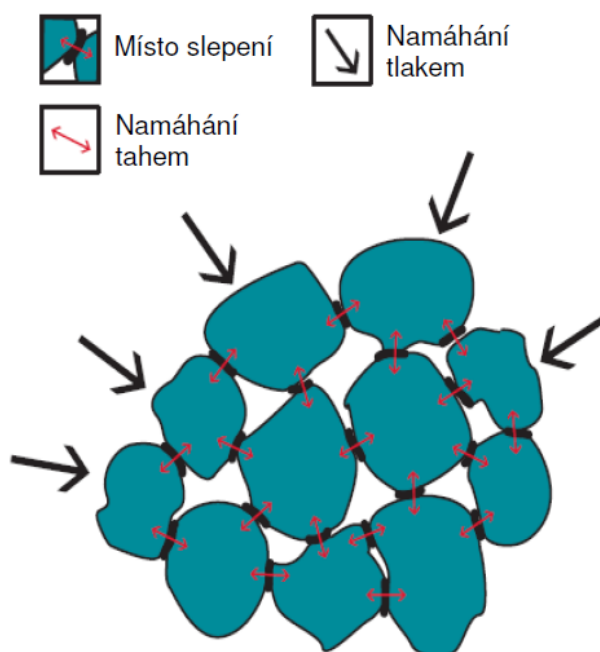
Ne všechny metody pro vylepšování jsou univerzální. Proto vždy můžeme použít jen některé, a to podle typu zemin, na niž má být postup aplikován. V této podkapitole je uveden stručný výčet nejpoužívanějších metod zlepšování podloží:

- zhutňování
- konsolidace
- odvodňování
- filtry
- elektroosmóza
- použití vápna nebo cementu
- injektování
- vyztužování

Konkrétnější postupy jsou například: dynamické zhutňování, úprava pojivy vápnem či cementem, vibroflotace, zmrazování tekutým dusíkem, rozptýlená výztuž, výměna základové půdy, stabilizace vegetací, hloubkové mísení zeminy, drénování, zakomponování geobuněk a geomříží i geotextilií. Některé způsoby zlepšování jsou jednoúčelové a některé víceúčelové. Přestože metoda ballast bonding materiál kolejového lože nepozměňuje, zlepšuje jeho celkové vlastnosti.

## 2.2 Princip prolévání štěrkového lože pryskyřicí Geoflex BB

Princip metody ballast bonding, jinými slovy gravitační prolití, je velmi jednoduchý. Spočívá v provedení povrchového nástřiku kolejového lože speciální pryskyřicí Geoflex BB, jejímž vlastností je věnována celá kapitola. Viskozita nástřiku byla navržena tak, aby se na povrchu lože udržela jen část a zbylý objem protekl působením gravitace hlouběji. Nedochází k přeskupování zrn, jejich poloha je nezměněná a zafixována lepidlem. Výsledkem je kamenivo, které působí jako by bylo obalené pevným voskem. V místech styku zrn kameniva se pryskyřice kumuluje a vytváří velmi pevný spoj. Mezery mezi kamenivem jsou tak po prolití zcela průchozí pro povrchovou vodu. Zachování drenážní schopnosti kolejového lože je nezbytné. Jinak spolu se znečištěním dojde ke snížení smykové pevnosti a namrzání.



Obr. 3: Schéma prolité struktury zrn [18]

Protože neprolité kolejové lože přenáší zejména svislé tlakové síly a tahové namáhání ne, dojde po prolití ke zpevnění. Zároveň se sníží stlačitelnost a je zachována kompaktnost. To je výhodou především v nejvíce namáhaných místech na železniční trati jako jsou násypy a zatáčky, kde často dochází k deformacím. Ballast bonding pomáhá zachovat stabilitu a tvar kolejového lože. Zároveň jsou sníženy náklady na opakované opravy a údržbu na trati. [10, 18]

### 3. Technologie provádění prolévání

V této kapitole bude popsána aplikace materiálu Geoflex BB za účelem prolití kolejového lože. Samotné provedení není komplikované, ale je nezbytné následovat pokyny stanovené výrobcem. Před aplikací je potřeba provést kontrolu povrchu a stavu kolejového lože protože nečistoty mohou negativně ovlivňovat schopnost slepení a míru přídržnosti pryskyřice na jednotlivých zrnech. Speciální čištění místa prolití před samotnou realizací není zapotřebí. Zhotovitelem by měla být dodržena hodnota součinitele znečištění kolejového lože  $S_z$  menší než 15% přičemž tento součinitel vyjadřuje hmotnost zrn o průměru  $D$  menším než 22 mm vyčíslenou v procentech celkové váhy vzorku. [15] Hlavní je, aby šterk nepokrývalo větší množství hlíny či písku a různý odpad. Ideální je nanesení na suché kamenivo, jelikož u vlhkého je asi o 1 MPa snížena přílnavost. Jak již bylo zmíněno, Geoflex BB je směsí dvou složek. Obě se skladují a dopravují odděleně a následně se ve statickém směšovači promíchají. Používat se mají 2 kusy statických směšovačů. Konkrétně typ II. Ty jsou speciálně určeny pro práci s organicko-minerální pryskyřicí. Jejich specifické parametry jsou:  $\varnothing$  13 mm, 32 žebírek a celková délka 320 mm. Speciální dvousložkové čerpadlo poté dopravuje a dávkuje obě složky v poměru 1:1. K aplikaci se používá lehká nástřiková pistole s kloubovou tryskou, protože umožňuje nanášet preparát rovnoměrně, což by manuálním způsobem nepřineslo požadovaný výsledek a nedošlo by k typickému kontaktnímu spojení mezi zrny. Po promíchání dvou komponent vzniká pružně-elastická organicko-minerální pryskyřice Geoflex BB.

Z chemického hlediska tvrdne složka A na silikát a složka B vytvoří pevnou polymočovinu. Složení neobsahuje fluorované a chlorované uhlovodíky a halogeny. Na začátku je viskozita materiálu nízká kvůli dobré penetraci. K tunutí dochází během několika minut a maximální teplota reakce je sto pět stupňů celsia. Ideální teplota pro zpracování látek se pohybuje od patnácti do třiceti stupňů celsia. Z tohoto důvodu se mají složky před použitím temperovat při patnácti stupních celsia alespoň půl dne. Přitom nesmí dojít k lokálnímu přehřátí, např. na stěnách nádob. Doba temperace se prodlužuje na jeden a půl dne, pokud byly složky silně podchlazeny při teplotách okolo nula stupňů celsia. Z hlediska skladování je vhodné suché prostředí s teplotami od plus pěti do plus třiceti stupňů celsia. Stabilita složek je při správném uskladnění zaručena minimálně po dobu půl roku od dodání a rok od data výroby. Déle skladovaný materiál je doporučeno nechat přezkoušet odborníky. Protože po gravitačním prolití dojde k vytvrzení, je výsledný produkt klasifikován jako plastový odpad. Likvidace se řídí zákonem č. 185/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů. [18,10]

Podle hloubky prolití lze mluvit o prolepení povrchovém nebo strukturním. Povrchové lepení se provádí ve vrstvách mezi čtyřmi až sedmi centimetry. Zde není cílem zlepšit mechanické vlastnosti kolejového lože a zahrnout tak slepenou strukturu do přenosu zatížení. Slepění vrchní části se používá pro zabránění úletu šterku, zjednodušení údržby průmyslovými vysavači, ochranu proti deformaci od pochozího zatížení a pro zpevnění boční hrany kolejového lože, probíhá-li například stavba na vedlejší koleji.



Obr. 4: Vlevo povrchové prolití, Německo [12], vpravo strukturní prolití, ČR [12]

Při hlubším, strukturním, prolití ve vrstvách deset až dvacet pět centimetrů se jedná o lepení strukturní, u nějž už se, mimo zamezení uvolňování zrn, uvažuje o přenosu silového namáhání. S výhodou se používá na drážních přechodových oblastech z nezpevněných úseků na pevnou jízdní dráhu, při navázání na tunely, mosty či přejezdy. Dále zvyšuje polohovou stabilitu a životnost izolovaných styků kolejnic, u oblouků s malým poloměrem zlepšuje odpor proti příčnému posunutí a přispívá k lepší únosnosti. [17]

### 3.1 Zásady

Jako všechny technologie a postupy, i použití materiálu Geoflex BB má své zásady, které by se měly dodržovat. Proto musí být všichni pracovníci včetně technického dozoru seznámeni s technologiemi používanými při provádění ballast bondingu i s vlastnostmi směsi Geoflex BB. Teoretické i praktické proškolení pracovníků je jedna z hlavních zásad. Co se týče vybavení, je

nutné používat pouze jeho určité schválené typy a dodržovat správné postupy při čištění a manipulaci se zařízeními. V blízkosti místa aplikace Geoflexu BB je zákaz manipulace s ohněm a svářečských prací. Toto místo by mělo být také velmi dobře odvětráno ať už přirozeným či umělým větráním, a to zejména kvůli silným chemikáliím, z nichž je hlavní pryskyřice Geoflex BB namíchána a jejich rozprašování při nástřiku. Pokud by došlo k úniku těchto složek, musí se zamezit jejich vtoku do okolních vod či kanalizace. Ihned se proto zasypávají savým materiálem (pískem či vápencovým práškem) a musí se odstranit. Kvůli rizika potřísnění směsí se v blízkosti provádění prolévání nesmí nacházet nepovolané osoby. Ostatní pracovníci by se rovněž měli zdržovat opodál mimo dosah chemických par a aerosolů. Na pracovišti musí technický dozor při každé směně kontrolovat dodržování hygienických opatření.

Přestože je každá situace použití metody ballast bonding specifická a je vždy vyžadován návrh prolití dle konkrétní situace a požadavků, shrnutí doporučeného postupu v bodech může vypadat následovně:

- obeznámit se s prostředím, kde chceme technologii ballast bonding použít
- určit frakci kameniva, na kterou se bude provádět aplikace
- podle účelu a požadovaného výsledku udat stupeň prolití
- stanovit způsob provádění a harmonogram prací
- podle podmínek in-situ vybrat příslušenství pro aplikaci
- zajistit ochranné pomůcky a proškolení personálu

V technologickém postupu pracoviště by měl být uveden přesný postup prací. Všechny kroky provádění prolévání jsou v souladu s návodem k použití materiálu Geoflex BB. [10]

### 3.2 Pryskyřice, Geoflex BB a jeho vlastnosti

Z materiálového hlediska je možné pryskyřice rozdělit na přírodní a syntetické. Přírodní pryskyřice je vylučována především jehličnatými stromy při poranění kůry či dřeva nebo při napadení škůdci. Syntetické pryskyřice se od těch přírodních svým chemickým složením ale velmi liší. Nazývají se pryskyřicemi pouze proto, že mají podobné vlastnosti, a těmi jsou vysoká viskozita a schopnost trvalého vytvrzení. Existuje mnoho druhů syntetických pryskyřic. Jsou vyráběny různými způsoby a mají široké využití zejména jako lepidla, nátěrové hmoty a složky kompozitních materiálů. Například pryskyřice epoxidové, polyesterové, silikonové, vinylesterové, polyuretanové, fenolové, organicko-minerální aj.

Organicko-minerální hmoty patří do skupiny materiálů, které našly své využití především v podzemním stavitelství a geotechnice. Jejich specifickou vlastností je, že při styku s vodou nebo přirozenou vlhkostí nenapěňují. Toto je výhodou u materiálů pro kotevní práce či zpevňování horninového prostředí, protože přítomnost vody v injektované oblasti nemá žádný vliv na konečné mechanické parametry finální hmoty. Zpracování probíhá jednoduše za pomoci čerpadel a dávkování 1:1. Velká výhoda je i rychlá reakce, a tudíž téměř okamžitá účinnost. Jiné použití pryskyřic v oboru zahrnuje: zpevňování hornin a nesoudržných zemin, omezení a zastavení přítoků vody, utěšňování trhlin, vyplňování dutin nebo kaveren, sanaci prasklin a trhlin v konstrukcích, těsnění tekoucí vody u vodních děl aj. [10]

Materiál Geoflex BB je organicko-minerální pryskyřicí, která je namíchána ze dvou složek. Složka A je tvořena speciálním sodným vodním sklem s přísadami a má světle hnědou barvu. Složka B je modifikovaným barveným isoakrylátem černé barvy. Při mixování směsi se nelze orientovat dle váhy obou složek, kvůli odlišné hustotě. Třilitrové balení složky A váží 4,86 kg a stejně velké balení složky B váží 3,60 kg, obojí včetně plastového obalu. S oběma složkami se musí zacházet velmi opatrně, jelikož se jedná o silné chemikálie. Proto je nezbytné dodržování bezpečnostních předpisů a použití ochranných pomůcek.



Parametr	MJ	Složka A	Složka B
Objemová hmotnost při 25 °C	kg/m <sup>3</sup>	1450 – 1480	1100 – 1140
Barva	-	světle hnědá	černá
Bod vzplanutí	°C	-	> 100
Viskozita při 25 °C	mPa.s	260 ± 40	150 ± 30

Tab. 1: Technická data složek A a B [18]

Také Geoflex BB má s pryskyřicemi podobnost ve vytvrzení a pevnosti. Čas ztvrdnutí je krátký, jedná se o minuty, a závisí na teplotě okolního prostředí, jelikož ta ovlivňuje konzistenci směsi. Ideální teplotní rozmezí je patnáct až třicet stupňů celsia. Při nižších teplotách má Geoflex BB vyšší viskozitu a na šterku vytvoří hustou krustu což je nežádoucí, protože nedojde k dostatečnému prolití do hloubky. Navíc po vytuhnutí při nízké teplotě materiál nedosáhne požadované pevnosti. V opačném případě za vysokých teplot je viskozita nižší, než je potřeba a hmota tuhne rychleji. Na rozdíl od pryskyřic s typicky vyšší viskozitou, je u Geoflex BB s výhodou využívána jeho počáteční nízkoviskóznost. Díky tomu stihne směs před ztvrdnutím penetrovat šterkové lože hlouběji. Dalšími výhodami je kromě rychlé reakce a dobré penetrace také nenapěňování v kontaktu s vodou, odolnost oproti dynamickému zatížení a velmi dobrá přídržnost jak v suchém, tak ve vlhkém prostředí. Směs ve vodě klesá ke dnu a vodu samotnou neabsorbuje ani z okolního prostředí, ani z hornin.

Výchozí teplota	MJ	25 °C
Doba tuhnutí	min	6 – 7
Stupeň napětí	-	1,0
Max. teplota reakce	°C	105

Tab. 2: Reakční data Geoflexu BB [18]

Data pro zjištění mechanických vlastností materiálu Geoflex BB byla měřena dle následujících technických předpisů:

- EN 1542 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody, Stanovení soudržnosti odtrhovou zkouškou
- EN ISO 604 Plasty – Stanovení tlakových vlastností

- EN ISO 527-2 Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty
- EN ISO 178 Plasty – Stanovení ohybových vlastností
- EN ISO 62 Plasty – Stanovení nasákavosti ve vodě
- ISO 7619-1 Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer – Stanovení tvrdosti vtlačováním – Část 1: Stanovení tvrdoměrem (tvrdost Shore)

Přídržnost zatvrdlé směsi k betonu je velmi dobrá, neboť vyvozené zatížení na odtržení dosáhlo hodnoty 4 MPa, což odpovídá váze cca 400 tun. Nejvyšší pevnosti dosahuje materiál v tlaku, poté v ohybu a nejmenší je pevnost v tahu. Geoflex BB je v tlaku zhruba šestkrát pevnější než v tahu. Z hodnot modulů pružnosti je rovněž vidět, že síla na zdeformování materiálu v tlaku by musela být větší než při ohybu. Moduly pružnosti pryskyřic obecně (tj. například epoxidová, polyesterová, melaminová) se mohou pohybovat až nad 1000 MPa. Šestiprocentní prodloužení při přetržení je dostačující, neboť při vyšších hodnotách by už nemusel být splněn smysl použití materiálu, a to stabilizace a zachování tvaru kolejového lože. Velmi malá hodnota nasákavosti odpovídá vlastní podstatě materiálu, který s vodou nenapěňuje, ani ji nikterak neabsorbuje. Z téměř nulové nasákavosti můžeme usuzovat na dobrou mrazuvzdornost. Naměřenou tvrdostí 60D podle Shorea se Geoflex BB řadí mezi extra tvrdé materiály. Pro srovnání lze uvést hodnoty tvrdosti golfového míčku 50D a lidské kosti 90D. V následující tabulce jsou uvedena v konkrétních číslech mechanická data naměřená v laboratoři na materiálu Geoflex BB 24 hodin po jeho zatvrdnutí. Jelikož je pryskyřičná směs určena k aplikaci in-situ a nikoli v laboratoři, je možná mírná odchylka těchto vlastností v závislosti na výměně tepla mezi pryskyřicí a injektovaným prostředím či charakterem povrchu prostředí. K ovlivnění může dojít také teplotou, tlakem, vlhkostí a působením jiných faktorů.

Parametr	MJ	Hodnota	Technický předpis
Přidržnost k betonu	MPa	4,0	EN 1542
Pevnost v tlaku po 24 h	MPa	39	EN ISO 604
Modul pružnosti v tlaku po 24 h	MPa	450	EN ISO 604
Pevnost v tahu po 24 h	MPa	6,2	EN ISO 527-2
Poměrné prodloužení při přetržení po 24 h	%	6,0	EN ISO 527-2
Pevnost v ohybu po 24 h	MPa	12,1	EN ISO 178
Modul pružnosti v ohybu po 24 h	MPa	370	EN ISO 178
Nasákavost	%	0,3	EN ISO 62
Tvrdost Shore	°Sh	D 60	ISO 7619-1

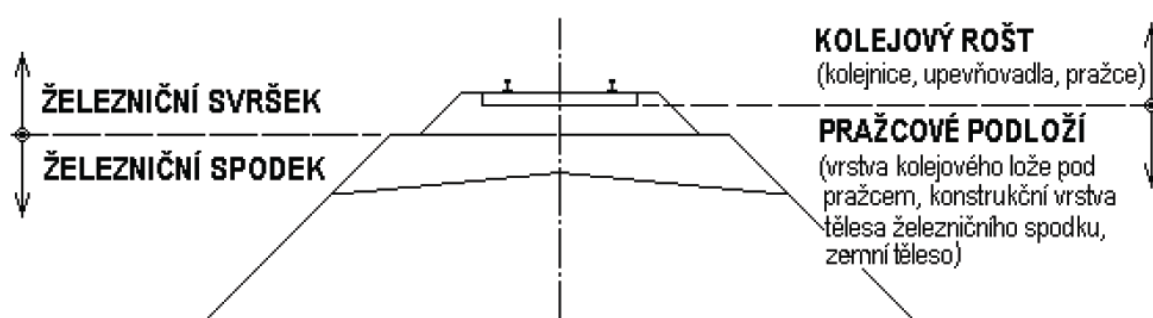
Tab. 3: Mechanická data Geoflexu BB [18]

V porovnání s jinými pryskyřicemi s podobným účelem a využitím se Geoflex BB liší tím, že je elastifikovaný. Díky tomu se materiál lépe chová při prolévání, není křehký, a přestože je méně pevnější, má větší přidržnost. To je jeho velkou výhodou v porovnání s konkurencí. Syntetické pryskyřice mohou být vyráběny na různých bázích. Například na bázi polyuretanové, epoxidové, organicko-minerální aj. Od různé viskozity živice se odvíjí schopnost penetrace. Reakční doba a hloubka zatečení jsou při prolévání důležitými parametry. Geoflex Ballast Bond je podle svého názvu určen speciálně pro ballast bonding. De facto se jedná o produkt Geoflex High Strength s modifikovanou dobrou reakcí a úpravou barvy tak, aby byla podobná šterku na železnici. [10, 19]

### 3.3 Vlastnosti kolejového šterkového lože

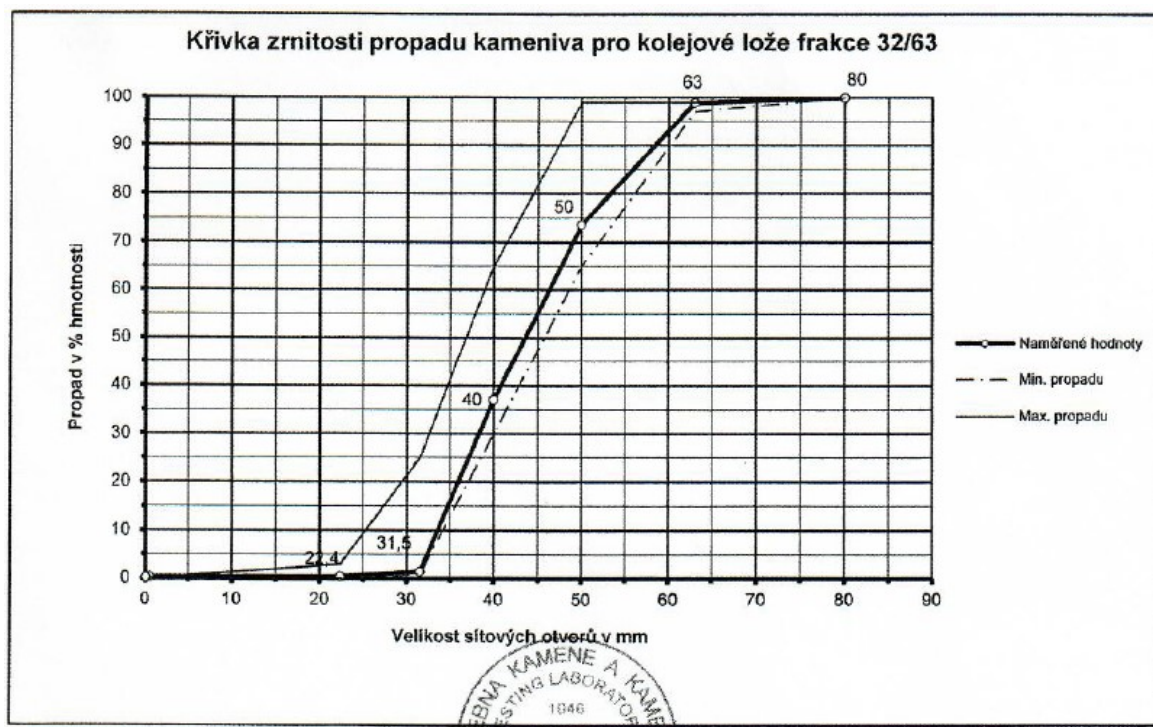
Dle obecně platných zásad předpisu S3 Českých drah je kolejové lože součástí železničního svršku. Kolejovým ložem se rozumí konstrukce pod pražci a kolejemi, případně výplň mezi pražci a kolem jejich hlav. V normě ČSN EN 13450, Kamenivo pro kolejové lože, se uvádí definice tohoto materiálu jako kamenivo se 100% drcenými zrny používané pro kolejové lože v konstrukci železniční tratě. Základní funkcí kolejového lože je vytvoření pružného uložení pro kolejový rošt. Z tohoto roštu roznáší lože zatížení dále na pláš, a to hlavně svislé namáhání tlakem. Způsobílost přenášet vodorovná zatížení a tlumit vibrace je podstatně nižší. Tahová namáhání nejsou přenášena vůbec. Úpravou lože je možné pozměnit směr a výšku koleje.

V neposlední řadě je tento základ zdrojem odporu proti příčnému a podélnému posunutí koleje. Maximální výška je stanovena na 900 mm. Tloušťku kolejového lože představuje vzdálenost mezi plání tělesa železničního spodku a ložnou plochou příčného pražce neboli kolejnicové podpory. Minimální tloušťky se pohybují od 200 mm do 350 mm podle kategorie trati a typu pražce. Pražce jsou obvykle betonové, dřevěné či ocelové. Kolejové lože musí být propustné, nenamrzavé, pružné, stabilní a zajišťovat dostatečnou vzájemnou elektrickou izolaci kolejnicových pásů. [4]



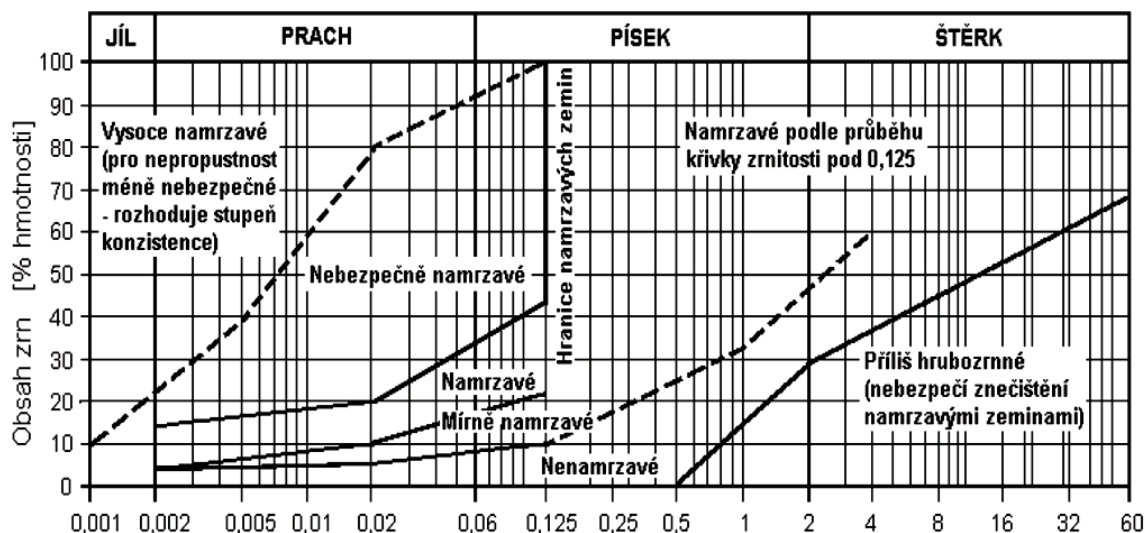
Obr. 5: Rozdělení drážního tělesa na železniční svršek a železniční spodek [14]

Na zhotovení šterkového lože se používá především kamenivo frakce 32-63. Podle původu můžeme materiál používaný k realizaci rozdělit na kamenivo přírodní, recyklované nebo umělé. Poslední zmíněné není povoleno pro koleje prvního až čtvrtého řádu, včetně hlavních a předjízdných kolejí vybraných tratí. Zástupce umělého kameniva je granulovaná vysokopecní struska. Recyklované je kamenivo, které již použito na trati bylo, ale po vytažení prošlo úpravou v recyklačním zařízení. Vhodné je používat přírodní kamenivo, které je drcené z vyvřelých hornin jako například žula, čedič, diorit, andezit apod. Zejména z hornin nezasažených zvětrávacím procesem, nenamrzavých, odolných proti povětrnostním vlivům, proti působení dynamických účinků od železničního provozu a proti účinkům údržbových stavebních strojů. Naopak nevhodné jsou horniny s vysokým podílem snadno se rozpadajících minerálů, břidličnaté horniny, vápence, dolomity a horniny s kulovitým rozpadem. [2, 11, 15, 21] U použitého kameniva by měla být známá frakce, křivka zrnitosti, mrazuvzdornost, procento odplavitelných částic a nasákavost.



Graf 1: Křivka zrnitosti propadu kameniva pro kolejové lože [20]

Namrzavost je důležitým ukazatelem zejména pro materiálové složení aktivní zóny. Jedná se o horní cca půlmetrovou vrstvu zemního tělesa (násep, zářez, odřez) do níž zasahují vlivy klimatu i zatížení. V této zóně se nesmí používat namrzavé zeminy. Vhodné je tedy proto použití GW, GP, SW, SP, G-F, S-F protože se jedná o nenamrzavé zeminy. [21] Dle zatřídění zemin podle vhodnosti použití do podloží je vhodná skupina II. (SW, SP, GW, GP, G-F, GM, GC). Jelikož zeminy spadající do této kategorie neobsahují jílovou a prachovou složku, znamená to, že jsou nenamrzavé. Jsou hůře zhutnitelné ale velmi dobře propustné i při náročných klimatických změnách. Výběrem vhodného nenamrzavého materiálu zemní pláň eliminujeme nepříznivé účinky mrazu, jež mohou zapříčinit nadzvedávání nivelety koleje v období zimy a následně pokles únosnosti podloží během jarního tání. [14]



Graf 2: Členění druhů zemin dle namrzavosti [14]

Jako na všechny ostatní komponenty, z nichž železniční cesty sestávají, tak i na kolejové lože a jeho zhotovení se vztahují limity a pravidla stanovené normami či ostatními předpisy. S ohledem na charakter diplomové práce bude pozornost věnována nejvíce materiálům, nikoliv geometrii nebo konstrukci lože. Materiál kolejového lože by měl být zvolen s ohledem na splnění certifikátů jakosti ISO a také:

- ČSN 72 1511 Kamenivo pro stavební účely
- ČSN 72 1512 Hutné kamenivo pro stavební účely
- ČSN 72 2051 Škvára ze spaloven tuhých komunálních odpadů pro stavební účely
- ČSN EN 13 450 Kamenivo pro kolejové lože
- ČSN 73 6301 Projektování železničních drah

Poslední dvě zmíněné normy se vztahují kromě materiálů také na provádění, měření a kvalitu prací. Materiál kolejového lože by na základě svých vlastností měl vydržet předpokládanou dobu životnosti stavby a při běžné údržbě zaručit především mechanickou pevnost a stabilitu konstrukce včetně ochrany zdraví, životního prostředí, a to včetně ochrany proti hluku. Zároveň musí být zajištěno trvalé odvodnění celého profilu kolejového lože. [4, 5, 11]

Pro zajištění provozuschopnosti železničních cest je důležitá eliminace závad, které mohou vznikat z různých příčin, dále je neodmyslitelná pečlivá údržba a čištění. Silně zanesené kolejové lože od spadu sypkých materiálů převážených na vagónech nebo od pronikání jemných částic ze zemin má sníženou propustnost, smykovou pevnost a zvýšené riziko namrzání. Nedostatky v průběhu výstavby způsobují pozdější nerovnoměrné sedání koleje nebo

problémy spojené s nevhodně či nedostatečně provedeným odvodněním. V případě kolejového lože může dojít k pochybení hlavně při nevhodném skladování kameniva a nevhodném způsobu jeho homogenizace. Kamenivo nesmí být znehodnoceno při uchovávání na skládce ani při manipulaci. Během zpracovávání se musí dbát na zachování zrnitostního složení a na ostrohrannost. Větší frakce 32-63 umožňuje správnou konsolidaci kolejového lože a zároveň správný odtok srážkové vody z konstrukce. Drsnost a ostrohrannost umožňuje vzájemné zaklínění zrn, což podporuje stabilitu tvaru lože a polohu kolejového roštu. U výstupu z výroby je kvalita kameniva deklarována ale může se změnit během zacházení s ním. Dopravní prostředky, ve kterých se materiál převáží, by měly být čisté, aby nedošlo ke smíchání se zbytky z předešlého nákladu. Během vykládání a nakládání se kamenivo nesmí sypat z výšky větší než 1,5 m. Důsledkem by byla gravitační segregace zrn a nežádoucí rozmišení kameniva. U různých míst navršeného materiálu poté zkoušky ukážou rozdílné složení. V případě nutnosti může následovat přetřídění a ověření zrnitosti. Dalším problémem je skladování materiálu na neupravené ploše včetně přejíždění kolovými vozidly. Smíšením s ornicí nebo s drobnější frakcí se snižuje propustnost kolejového lože a následuje vznik nestabilních blátivých míst. Kolové dopravní prostředky zrna při pojezdu ohlazují a redukují tak jejich ostrohrannost, jež je nutná k zaklínění. Důsledkem je vyšší pravděpodobnost budoucí nestability výškové úrovně koleje. Podstatný vliv má rovněž způsob homogenizace. Pro zachování křivky kameniva a podílu odplavitelných částic při zřizování kolejového lože se kamenivo nehetní. Frakce 32-63 je klasickými postupy nehomogenizovatelná. [13] Proto, s ohledem na reálnou dostupnost technologií, se volí nejlépe válec se statickým lineárním zatížením během maximálně 32kg/cm a s frekvencí 33 až 40 Hz. Nevhodné postupy mají za následek zhoršení pevnostních parametrů či hůře drcení zrn kameniva. [2, 3]

### **3.4 Zkoušky vlastností**

U materiálů používaných při výstavbě nových konstrukcí mají být známy a ověřeny jejich vlastnosti. Tyto se deklarují již předem, před dodáním hmot na stavbu ale může být zapotřebí jejich přezkoušení přímo před použitím, jak je tomu například u organicko-minerální pryskyřice Geoflex BB určené pro ballast bonding. Tato podkapitola obsahuje přehledné pojednání o různých zkouškách vlastností kameniva pro kolejové lože a pryskyřice Geoflex BB.

### 3.4.1 Geoflex BB

S látkami pro namíchání organicko-minerální směsi Geoflex BB by mělo být nakládáno dle výše uvedených zásad. Dále před samotnou aplikací má být směs odzkoušena in-situ. Musí se vyloučit mechanické problémy čerpadla. Toto se ověří objemovou čerpací zkouškou. Při tomto testu správného fungování čerpadla se do dvou stejně objemných nádob současně načerpají zvlášť složka A do jedné nádoby a zvlášť složka B do nádoby druhé. Načerpaná množství musí být stejná. Pokud tomu tak není, dávkování probíhá nestejnoměrně a závada se musí před zahájením prolévání odstranit. Je-li rozdíl načerpaných množství větší než 5%, prolévání je zakázáno zahájit. Po aplikaci s takto pokaženým příslušenstvím by se nevytvořila směs s předpokládanými vlastnostmi.

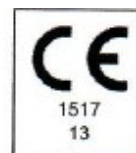
Další zkouška je nutná pro ověření reaktivnosti směsi. Kontroluje se průběh chemické reakce, ověřuje se reakční doba a zároveň výsledný vzhled směsi. Tento test je jednoduchý. Spočívá v načerpání směsi aplikační pistolí do samostatné nádoby. Pokud vše vypadá, jak má a není pozorováno neobvyklé chování produktu, může se postoupit k vlastnímu prolévání. [10]

### 3.4.2. Kolejové šterkové lože

Je nutné, aby materiál nestmelených vrstev kolejového lože odpovídal na něj kladeným základním požadavkům jako: limitní obsah jemnozrnných a cizorodých částic, odolnost proti zvětrávání, odolnost proti mechanickému opotřebení, nenamrzavost a propustnost. Křivka zrnitosti má být plynulá, bez chybějících frakcí. Proto se před použitím materiálu zjišťuje jeho: zrnitost, namrzavost a propustnost, nestejnozrnnost, obsah jemných a jiných cizorodých částic. Křivku zrnitosti vyhovující požadavkům pro kolejové lože zobrazuje graf 1 uvedený výše. Zhotovitel musí vlastnosti hmot prokázat počátečními zkouškami. Tyto jsou prováděny akreditovanými laboratořemi. Výsledek těchto zkoušek představuje osvědčení o jakosti výrobku, jež je zajištěno zhotovitelem u výrobce (dodavatele) tohoto materiálu. Nejsou-li prokázány požadované vlastnosti, nesmí být materiál použit. Během výstavby má být kvalita ověřována kontrolními zkouškami. [15] Pro výstavbu železničních cest by kamenivo pro kolejové lože mělo být opatřeno certifikačním lístkem. Na tomto lístku jsou uvedeny odzkoušené vlastnosti kameniva přímo od jeho výrobce. Níže je ukázka tohoto potvrzení pro kamenivo pro použití v kolejovém loži, pocházející z lomu v Jakubčovicích nad Odrou.



**Prohlášení o vlastnostech č. CC5A/18**  
podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011



1. Identifikační kód výrobku: **121A2000016 JAKUBČOVICE**
2. Typové označení výrobku: **Přírodní drcené kamenivo – frakce 32/63**
3. Zamýšlená použití stavebního výrobku:  
**Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace**
4. Výrobce: **EUROVIA Kamenolomy, a.s., Londýnská ul. 637/79a, 460 01 Liberec XI – Růžodol I, IČ: 27 09 66 70**
5. Zplnomocněný zástupce: -
6. Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebního výrobku: **2+**
7. Oznámený subjekt: **Stavcert, s. r. o., U Výstaviště 3, 170 00 Praha 7, oznámený subjekt č. 1517**  
provedl počáteční inspekci ve výrobním závodě a systému řízení výroby, provádí průběžný dozor, posuzování a hodnocení systému řízení výroby, a vydal Osvědčení o shodě řízení výroby (Certifikát SRV) č.: **1517-CPR- 130128**.
8. Evropské technické posouzení: **nebylo vydáno**
9. Vlastnosti uvedené v prohlášení: viz tabulka

Základní charakteristiky	Vlastnost	Harmonizovaná technická specifikace
<b>Tvar zrn, frakce a objemová hmotnost</b>		<b>EN 12620:2002+A1:2007</b>
- Zrnatost	G <sub>0</sub> 85/15	
- Tolerance pro zrnatost HK s D/d ≥ 2	G <sub>T</sub> 25/15	
- Tolerance pro typickou zrnatost DK a směsi	NPD	
- Tvar zrn hrubého kameniva – index plochosti	NPD	
- Tvar zrn hrubého kameniva – tvarový index	SI <sub>45</sub>	
- Procentní podíl drobných a lámaných zrn v HK	C <sub>10/0</sub>	
- Objemová hmotnost	2.891 Mg/m <sup>3</sup>	
<b>Čistota</b>		
- Obsah jemných částic	f <sub>2</sub>	
- Kvalita jemných částic	NPD	
<b>Odolnost proti drcení</b>		
- Součinitel Los Angeles	LA <sub>40</sub>	
- Hodnota držitelnosti v rázu	NPD	
<b>Objemová stálost</b>		
- Rozpad křemičitanu vápenatého ve VCHVS	NPD	
- Rozpad železa ve VCHVS	NPD	
- Objemová stálost kameniva z ocelářské strusky	NPD	
<b>Nasákavost</b>		
- Nasákavost	WA <sub>24</sub> NR	
<b>Složky</b>		
- Složky hrubého recyklovaného kameniva	NPD	
- Obsah vodou rozpustných síranů	SS <sub>0,2</sub>	
- Síraný rozpustný v kyselině	AS <sub>0,2</sub>	
- Celková síra	S <sub>1</sub>	
- Potenciální přítomnost humusu	NPD	
<b>Odolnost proti otěru</b>		
- Odolnost proti otěru	NPD	
<b>Nebezpečné látky</b>		
- Obsah přírodních radionuklidů	Ra 226 ≤ 100 Bq/kg / Index ≤ 1,0	
- Uvolňování jiných nebezpečných látek	NPD	
<b>Odolnost vůči povětrnosti</b>		
- Ztráta hmotnosti po vaření	NPD	
- Zvýšení součinitele LA po vaření	NPD	
<b>Trvanlivost vůči zmrazování a rozmrazování</b>		
- Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	F <sub>2</sub>	
- Zkouška síranem hořčnatým	MS <sub>18</sub>	
<b>Petrografický druh kameniva</b>	droba	

10. Vlastnosti výrobku jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v bodě 9.

Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4. Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

V Liberci, 1. 1. 2015	Jméno a funkce	Ing. Zuzana Sazimová, vedoucí technolog	Podpis
-----------------------	----------------	---	--------

Doklady o kvalitě a bezpečnosti výrobků jsou k dispozici na webových stránkách společnosti [www.euroviakamenolomy.cz](http://www.euroviakamenolomy.cz).

Obr. 6: Certifikační lístek potvrzující základní charakteristiky kameniva z lomu Jakubčovice nad Odrou

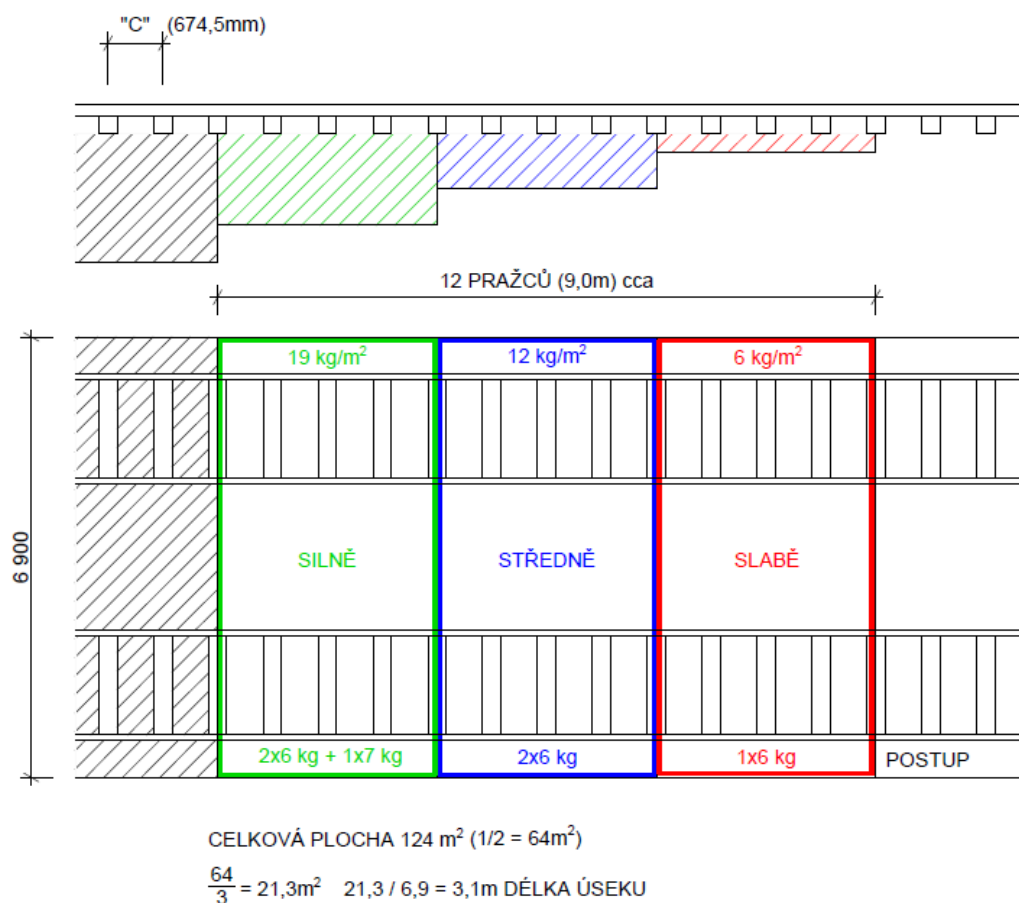
### 3.5 Praktický příklad použití metody ballast bonding

Jako ilustrační příklad využití pryskyřice Geoflex BB v praxi je uveden příklad aktuálně probíhající stavby ve městě Ostrava, část Jih. Stavba byla zahájena prvního dubna 2017 a termín dokončení je stanoven na konec měsíce listopadu 2017. Zakázku získala firma Metrostav. Cena za provedení prací se pohybuje okolo 90 milionů korun. Konkrétně se jedná o rekonstrukci dvou tramvajových, padesát let starých mostů na Plzeňské ulici. Vzhledem k havarijnímu stavu mostní konstrukce byla nutná demolice stávajících a realizace kompletně nových mostů. Důvodem k demolici byla zejména nevyhovující statika, stav betonových mostních pilířů a obnažená výztuž železobetonových částí, která po dlouholeté karbonataci betonu ve znečištěném prostředí industriální ostravské metropole začala silně korodovat. Na upravovaném úseku v délce 218 metrů se provádí také přeložky a úpravy inženýrských sítí. První z tramvajových mostů prochází nad ulicí Rudná, která je frekventovanou hlavní pozemní komunikací propojující město Ostrava ze západu na východ. Druhý z mostů je situován nad železniční a tramvajovou tratí. Na železniční trati se jedná o úsek spojující zastávky Ostrava-Vítkovice a Ostrava-Svinov nebo Polanka nad Odrou. Během výstavby byla přerušena tramvajová doprava přes mosty ale na běžné železniční trati a dalších pozemních komunikacích procházejících stavbou došlo pouze k omezením provozu. Na následujícím obrázku jsou zvýrazněny oba mosty.



Obr. 7: Oba mosty na ulici Plzeňská jsou v mapě vyznačeny červeným lemováním

Při obnově těchto dvou tramvajových mostů a výměně kolejové trati je zamýšleno použití technologie ballast bonding pro vyřešení plynulého přechodu mezi pevnou jízdni dráhou a štěrkovým ložem. Právě při řešení takovýchto přechodových oblastí, kde dochází ke skokové změně pružnosti, s výhodou a úsporou času nachází uplatnění zmiňovaná metoda. V délce necelých deseti metrů před navázáním na pevnou jízdni dráhu je navrženo stupňovité strukturní lepení štěrku pryskyřicí Geoflex BB. Jedná se o tři stupně, z nichž každý je prolitý jiným množstvím pryskyřičné lepící směsi. Cílem je dosáhnout plynulého nárůstu tuhosti na pružnějším štěrkovém kolejovém loži, a to až na hodnotu tuhosti úseku pevné jízdni dráhy. Tento postupný nárůst je možné jednoduše upravit dle potřeby. V návrhu stačí buď snížit nebo zvýšit množství použité pryskyřice. Zvýšení tuhosti je přímo úměrné kvantitě materiálu použitého k lepení za předpokladu, že se opravdu dodržují navržené hodnoty. Následující schéma projektu zobrazuje oblasti prolití včetně množství nanášeného materiálu Geoflex BB.



Obr. 8: Schéma jednotlivých stupňů prolití na úseku před pevnou jízdni dráhou

Na neupravených krátkých úsecích přechodových oblastí postupem času dochází k nežádoucímu poklesu tratě. Tento pokles přímo ovlivňuje dynamiku, komfort a v kritickém stadiu i bezpečnost jízdy. Změna výškové úrovně na neupravené trati by byla způsobena pravidelným prudkým vybuzením podvozku drážního vozidla při každém přejezdu úseku, kde, jak již bylo zmíněno, se značně mění tuhost drážního tělesa. V běžných případech se přechod tělesa železničního spodku na stavby železničního spodku (jako mostní konstrukce, pevné jízdní dráhy aj.) řeší také přechodovým klínem. Tento je proveden z materiálů jako: výztužná geosyntetika, šterkodrt', mezerovitý beton, šterkodrt' stabilizovaná cementem, minerální směsi nebo jiné schválené materiály. [14]

Při srovnání konstrukcí pevné jízdní dráhy a klasického kolejového roštu je možné zmínit u obou řešení výčet výhod i nevýhod. V poslední době se zejména při stavbě nových tratí pro vysokorychlostní železniční dopravu uplatňuje řešení pevnou jízdní dráhou.

Výhody pevné jízdní dráhy	Nevýhody pevné jízdní dráhy
levnější údržba	vyšší investiční náklady
nižší konstrukční výška	opravy jsou komplikovanější
nižší hmotnost	vyšší emise hluku
časově nenáročná údržba (ne podbíjení ani čištění)	dokonalý geotechnický průzkum
delší životnost	náročnější výstavba

Tab. 4: Některé výhody a nevýhody pevné jízdní dráhy [22]

Realizace klasické konstrukce kolejového šterkového lože s kolejovým roštem je při srovnání s pevnou jízdní dráhou určitě levnější, poněvadž se nejedná o modernější technologii a samotné výstavbě nemusí předcházet natolik pečlivý a dokonalý geotechnický průzkum, jelikož později lze pomocí podbíjení kolejové lože upravit. Údržba je časově náročnější a nelze se vyhnout čištění z důvodu prevence namrzavosti. Postupem času také dochází k degradaci materiálu od dynamického namáhání kolejovou dopravou a s tím se pojí prostorové změny. Prolitím šterkového lože organicko-minerální pryskyřicí lze některé, výše zmíněné nevýhody eliminovat. [22]

## 4. Praktická část včetně vyhodnocení dosažených výsledků

V této kapitole jsou shrnuty výsledky naměřené během zkoušek spadajících do praktické části diplomové práce včetně postupů jejich zjišťování. Všechna měření byla prováděna na materiálu, jež se používá pro realizaci šterkového kolejového lože. Při počátečním konzultování obsahu diplomové práce byly s firmou Minova Bohemia projednávány praktické zkoušky k ověření chování materiálu Geoflex BB po jeho aplikaci na zrna šterku. Byly vybrány tyto zkoušky:

- statická zatěžovací deska:

Zkouška pro zjištění změny deformačních charakteristik šterkového lože před a po prolití organicko-minerální pryskyřice Geoflex BB. Provedení na standu pro měření v exteriéru FAST a na stavbě in-situ bylo zrušeno. Nakonec se měření uskutečnilo v areálu Báňské záchranné služby v Ostravě Radvanicích. Výsledky jsou uvedeny v kapitole věnované zkoušce se statickou zatěžovací deskou.

- ovlivnění průtočnosti vody:

Zkouška pro ověření faktu, zda dojde po aplikaci pryskyřice Geoflex BB ke zlepšení či zhoršení průtočnosti vody šterkovým balastem frakce 32-63. Měření probíhalo v laboratoři geotechniky na FAST a výsledky shrnuje samostatná kapitola.

- mrazuvzdornost:

S ohledem na fakt, že už samotný materiál Geoflex BB byl testován na mrazuvzdornost, má téměř nulovou nasákavost a neváže vodu, nebyla tato zkouška provedena. Navíc také kamenivo do šterkového kolejového lože musí být mrazuvzdorné.

- pohlcování vibrací:

Zkouška by probíhala s použitím vybavení pro měření seismických účinků. Očekává se, že po aplikaci pryskyřice Geoflex BB je schopnost šterkového lože pohlcovat vibrace lepší, poněvadž výrobce uvádí dobrou odolnost pryskyřice proti dynamickému zatížení. V letošním roce nelze měřit, kvůli odsunutí realizace prolití na ul. Plzeňská na jaro.

- smyková zkouška:

Frakce kameniva 32-63 je pro klasickou smykovou zkoušku příliš velká. Jedná se o nesoudržný materiál s nulovou soudržností, kde je zdrojem smykové pevnosti jen vnitřní tření mezi zrny skeletu, reprezentované úhlem vnitřního tření. Ten se dá hrubě odhadnout jako úhel sklonu volně nasypaného kameniva. Protože pryskyřice zatvrdlá na kontaktech zrn zpevňuje jejich vazbu, dá se předpokládat nemalé navýšení pevnosti

a určitě nenulová soudržnost prolitých vrstev. Alternativou zjištění smykové pevnosti by mohlo být numerické modelování pomocí výpočetní techniky. Obtížná část spočívá především v namodelování vrstvy materiálu pryskyřice a zpevnění kameniva na kontaktech zrn. Nebylo by však možné ověřit pravdivost modelu s reálně naměřeným výsledkem v laboratoři. Další možnost je použití směrných normových charakteristik. Ty udávají pevnostní parametry pro dobře zrněný štěrk GW v hodnotách úhlu vnitřního tření  $\varphi$  v intervalu 36 až 41 stupňů (pro kypře až středně ulehlé štěrky) nebo 39 až 44 stupňů (pro středně ulehlé až ulehlé štěrky). Směrné normové charakteristiky uvádí u dobře zrněného štěrku GW taktéž nulovou soudržnost  $c$ .

## **4.1 Zkouška ovlivnění průtočnosti vody**

Jednou z důležitých vlastností štěrkového lože je ta, že je zcela propustné pro vodu. Kdyby tomu tak nebylo a mezery mezi zrny by byly zanesené a pro vodu téměř nepropustné, znatelně by se zvýšila namrzavost a snížil by se úhel vnitřního tření kameniva. To by mohlo v mezních případech vést i ke snížení celkové stability kolejového lože. Proto je nutná údržba čištěním, aby se tomuto problému předcházelo. Po aplikaci metody strukturního lepení štěrku pryskyřicí Geoflex BB na povrchu, mohou vznikat pochyby o celkové vodopropustnosti štěrkového tělesa. Za účelem zjištění faktu, zda prolití pryskyřicí jakkoli ovlivňuje průtok vody kamenivem byla provedena praktická zkouška v laboratoři geotechniky fakulty stavební VŠB-TU Ostrava.

### **4.1.1 Provedení a průběh zkoušky**

Princip zkoušky není ve své podstatě příliš komplikovaný, ale provedení je časově náročnější. Cílem bylo napodobit jednotlivé úseky a stupně prolití ze stavby probíhající v Ostravě, na mostech v ulici Plzeňská. K provedení bylo dovezeno přírodní drcené kamenivo o frakci 32-63, které je na ostravské stavbě použito. Tento materiál bude plnit funkci kolejového lože. Před samotným měřením musela být zrna propláchnuta vodou, poněvadž byla obalena vrstvou jemného prachu a písku z deponie. Tyto jemnozrné částice by se sice při prolévání vypláchly, ale pro každé měření by tak na začátku byl použit jinak čistý vzorek. Po proplachu a vždy po každém prolití vodou se zrna neobalená pryskyřicí vysoušela v sušičce 24 hodin při teplotě 105°C. Na počátku každého měření se tak použilo rovnocenné, stejně ošetřené kamenivo. Nezbytné vybavení zahrnovalo nádobu s drátěným dnem. Tato se vyrobila v laboratoři a byla při pokusech naplněna kamenivem z kolejového štěrkového lože. Drátěné



dno je důležitým faktorem, jelikož nemůže dojít k ucpání otvorů zatvrdlou pryskyřicí, která by před ztuhnutím protekla ke dnu a byla by tak překážkou pro průtok vody ve spodní části nádoby. Konkrétně bylo zvoleno voštinové pletivo s průměrem oka cca 1,5 cm, aby bylo rovněž zabráněno propadu zrn skrz dno. Dále byla použita konev o objemu 10 litrů, kalibrovaná váha do 20 kg a do 40kg, nádoba na zachytávání protečené vody a měřič času. Při namíchávání chemické pryskyřičné směsi Geoflex BB v plastovém kelímku bylo nutné použít ochranné brýle a rukavice.



Obr. 9: Fotodokumentace měření v laboratoři: 1) po prolití pryskyřicí 2) improvizované místo k měření 3) slepený konglomerát 4) čerstvá pryskyřice prokapávající drátěným dnem 5) neucpané dno po nejsilnějším stupni prolepení 6) pryskyřice přilnula velmi dobře i ke dnu plastových kelímků 7) čištěním od prachu před měřením prošly dvě dvacetilitrové nádoby plné kameniva 8) nejčistší voda ze všech měření byla po prolití nejsilněji prolepeného vzorku

Celkem zkouška sestává z dvanácti měření. Hlavní je rozdělení na čtyři etapy. Ty se odlišují podle různých intenzit prolepení kamenitého vzorku. Podle množství použité pryskyřice lze odlišit tyto čtyři etapy:

- 1) Neprolité
- 2) Prolité málo
- 3) Prolité středně
- 4) Prolité hodně

Každá z těchto etap zahrnovala tři vzorky rovnocenného kameniva. Pro každou ze čtyř částí se měřil čas průtoku stejného množství vody, přičemž největší množství proteklo vždy během prvních pěti minut. Zároveň se zaznamenávala hmotnost protečené vody. Před prolitím byla zvážena nádoba se suchým kamenivem a po prolití znovu s kamenivem mokrým. Rozdíl v množství vody vlévané a vody protečené nebyl veliký. K drobným ztrátám mohlo dojít vystříknutím vody mimo zachycovací nádobu během lití. Kapky vody se zachytily na stěnách kyblíku a jistě došlo i k nepatrnému vsaku do zrn kameniva.

Před samotným nanášením materiálu Geoflex BB proběhl test prolití v malém měřítku, aby se ověřila možnost odstranění vzorku z plastové nádoby, chování mixu a také reakční teplota pryskyřičné směsi. Pro snadnější vyjmutí prolitého kameniva z kyblíku byly stěny obaleny filmem obyčejné potravinářské folie.



Obr. 10: Test prolití nanečisto pro ověření chování pryskyřičné směsi

Zároveň bylo třeba přepočítat potřebné množství každé složky pro danou sílu prolití na svrchní kruhovou plochu kyblíku. Tato plocha byla vypočtena použitím základního vzorce pro obsah kruhu. Výsledný mix tvoří v poměru 1:1 složka A a složka B. Každá má jinou hustotu, proto se části nedají jen navážít, ale pracuje se s objemem. Firma Minova poskytla pro prolévání dva třílitrové kanystry, což bylo bohatě dostačující. Postup výpočtu byl následující:



Přepočet nutného množství materiálu pro prolití v laboratoři		
síla prolití	množství na 1 m <sup>2</sup>	množství na laboratorní měření plocha 0,05 m <sup>2</sup>
slabý stupeň	6 kg	0,283 kg
střední stupeň	12 kg	0,566 kg
silný stupeň	19 kg	0,896 kg

Tab. 5: Přepočet nutného množství materiálu pro prolití v laboratoři

Hustota mixu v laboratoři byla zjištěna zvážení 100 ml směsi složek A a B namíchaných v předepsaném poměru 1:1. Množství 100 ml směsi vážilo po odečtení váhy plastového kelímku 133 gramů. Hustota odpovídá hodnotě 1330 kg/m<sup>3</sup>.

Zjištění potřebného objemu materiálu dle váhy dávky		
síla prolití	potřebná váha mixu	nutné množství
slabý stupeň	283 g	213 ml
střední stupeň	566 g	426 ml
silný stupeň	896 g	674 ml

Tab. 6: Zjištění potřebného objemu materiálu dle váhy dávky

Dávkování jednotlivých stupňů poté probíhá následovně:

1. slabý stupeň: jedenkrát 6 kg/m<sup>2</sup>
2. střední stupeň: dvakrát 6 kg/m<sup>2</sup>
3. silný stupeň: dvakrát 6 kg/m<sup>2</sup> a jedenkrát 7 kg/m<sup>2</sup>

Jednotlivá množství byla přepočtena na objemy pro aplikaci v laboratorních podmínkách na menší kruhové ploše. Aplikace in situ probíhá pomocí speciálního dvousložkového čerpadla, které pryskyřici nasprejuje na zrna kameniva s pomocí stlačeného vzduchu. Vzhledem k časově náročnému čištění čerpadla po každém použití a malému objemu dávek a také vzhledem k problematické logistice čerpadla, byl zvolen jiný způsob provedení. V laboratoři bylo alternativně prováděno nanášení směsi pomocí kelímku s děrovaným dnem. Tímto zjednodušeným gravitačním prolitím tak nemuselo dojít k úplnému a rovnoměrnému roznesení mixu jako na reálné stavbě, což mohlo také ovlivnit sílu vrstvy a sílu spojení na kontaktech jednotlivých zrn. Pro smysl tohoto měření, které nemělo za cíl měřit sílu a kompaktnost slepených zrn toto nebyl majoritní problém. Po každém stupni prolití byl vzorek z nádoby

vyjmut a oddělila se zrna neslepená od slepené části. Následně byl zvážen suchý slepený konglomerát, jehož váha se zvyšovala přímo úměrně s množstvím nanesené organicko-minerální pryskyřice Geoflex BB.



Obr. 11: Slepené konglomeráty, zleva od nejslaběji prolepeného po nejsilněji prolepený vzorek

Vzorky na obrázku představují část prolepenou pryskyřicí, která již nešla manuálně rozpojit. V případě potřeby je však možno zrna oddělit pomocí vhodného náčiní, například krumpáčem. Váhu jednotlivých slepených kusů uvádí následující tabulka.

slabé prolepení	střední prolepení	silné prolepení
8,28 kg	12,51 kg	16,89 kg

Tab. 7: Váhy slepených kusů po prolepení

#### 4.1.2 Výsledek

Výstupy z měření jsou uvedeny v následujících tabulkách, kdy první z nich představuje výsledky z prolévání vodou kamenivem neošetřeným, bez pryskyřice. Další tři tabulky ukazují naměřené hodnoty u kameniva, které bylo prolepeno, a to postupně od slabého prolití, přes střední až po silné prolití největším množstvím organicko-minerální směsi Geoflex BB. Zvýrazněné hodnoty v tabulkách představují okamžik, kdy přestala téci voda a byla z nich vypočtena vydatnost. Hodnota vydatnosti poskytuje informaci o množství vody dodaném za určitý čas. Tudíž byla vypočítána tak, že se množství protečené vody (v tabulce vyznačeno tučně) vydělilo časem, v němž voda shora přestala přitékat (čas na řádku s tučně vyznačenou hodnotou protečeného množství). Různou rychlostí prolití zrn vodou lze napodobit různou vydatností dešťových srážek. Dalším údajem je rychlost průsaku vody, která se získala vydělením vydatnosti plochou a je uvedena v řádech milimetrů za sekundu. Pod každou tabulkou je navíc připojen graf pro lepší názornost. Z každé ze čtyř etap, kdy jedna etapa

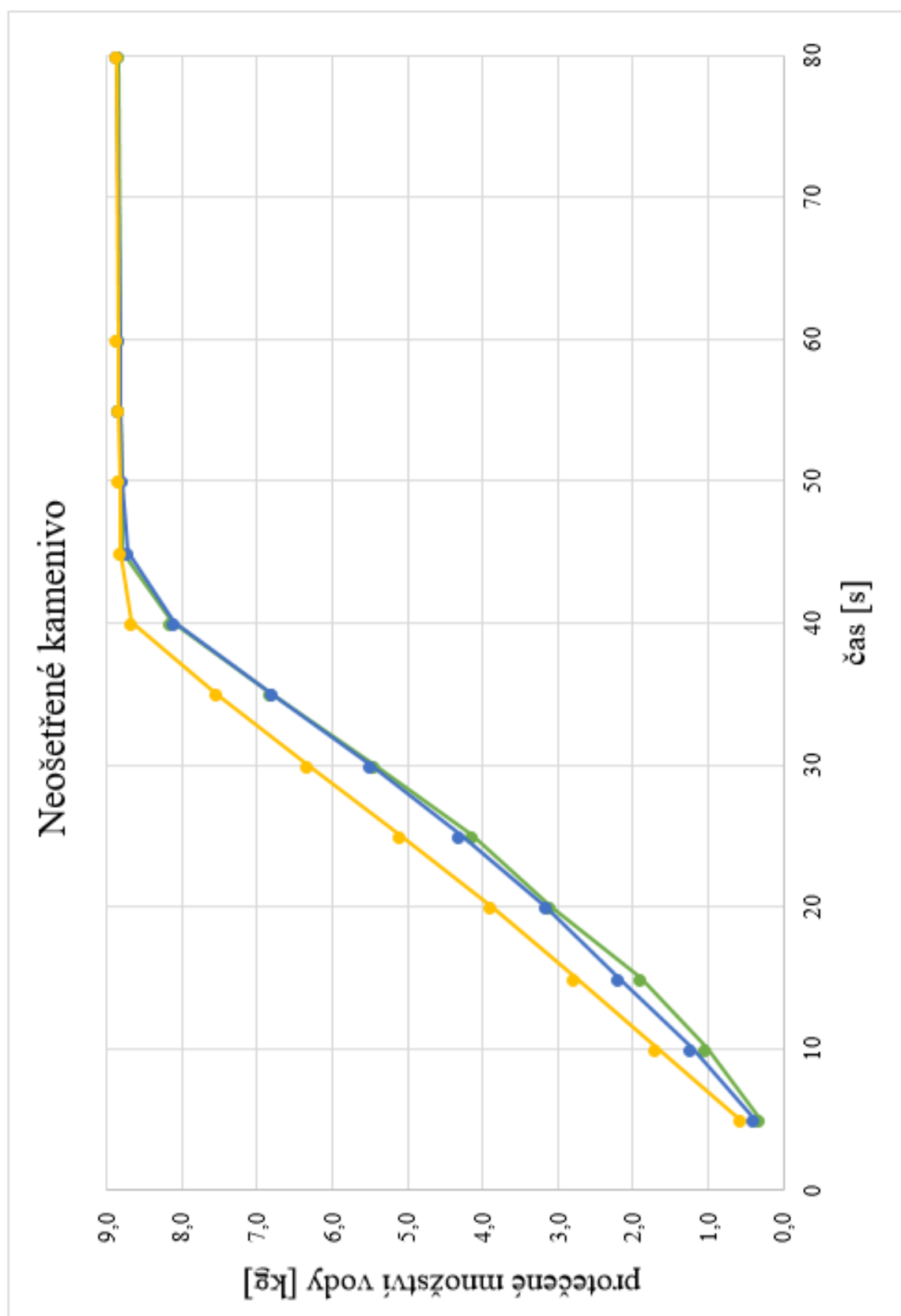
zahrnuje celkem tři měření, je vypočten průměr. Tyto průměry jsou zobrazeny v jednom společném grafu v závěru kapitoly.

NEOŠETŘENÉ KAMENIVO				
[sec]	1. měření [kg]	2. měření [kg]	3. měření [kg]	průměr [kg]
5	0,30	0,38	0,56	0,41
10	1,02	1,22	1,68	1,31
15	1,90	2,19	2,77	2,29
20	3,09	3,15	3,88	3,37
25	4,13	4,30	5,10	4,51
30	5,44	5,49	6,33	5,75
35	6,80	6,79	7,53	7,04
40	8,13	8,10	8,66	8,30
45	8,79	8,72	8,81	8,77
50	8,80	8,79	8,83	8,81
55	8,82	8,82	8,84	8,83
1 min.	60	8,83	8,83	8,84
	80	8,84	8,86	8,85
	100	8,85	8,87	8,86
2 min.	120	8,85	8,87	8,87
	150	8,86	8,88	8,87
3 min.	180	8,86	8,89	8,88
5 min.	300	8,87	8,89	8,88

Tab. 8: Naměřené hodnoty při prolévání neošetřeného kameniva vodou

NEOŠETŘENÉ KAMENIVO			
	1. měření	2. měření	3. měření
hmotnost suchého [kg]	17,91	17,34	18,40
hmotnost mokrého [kg]	17,97	17,43	18,47
vydatnost [l/s]	0,20	0,19	0,22
rychlost průsaku [mm/s]	4,1	4,1	4,6

Tab. 9: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u neošetřeného kameniva



Graf 3: Grafické znázornění protečeného množství vody neošetřeným kamenivem

### SLABĚ PROLITÉ KAMENIVO

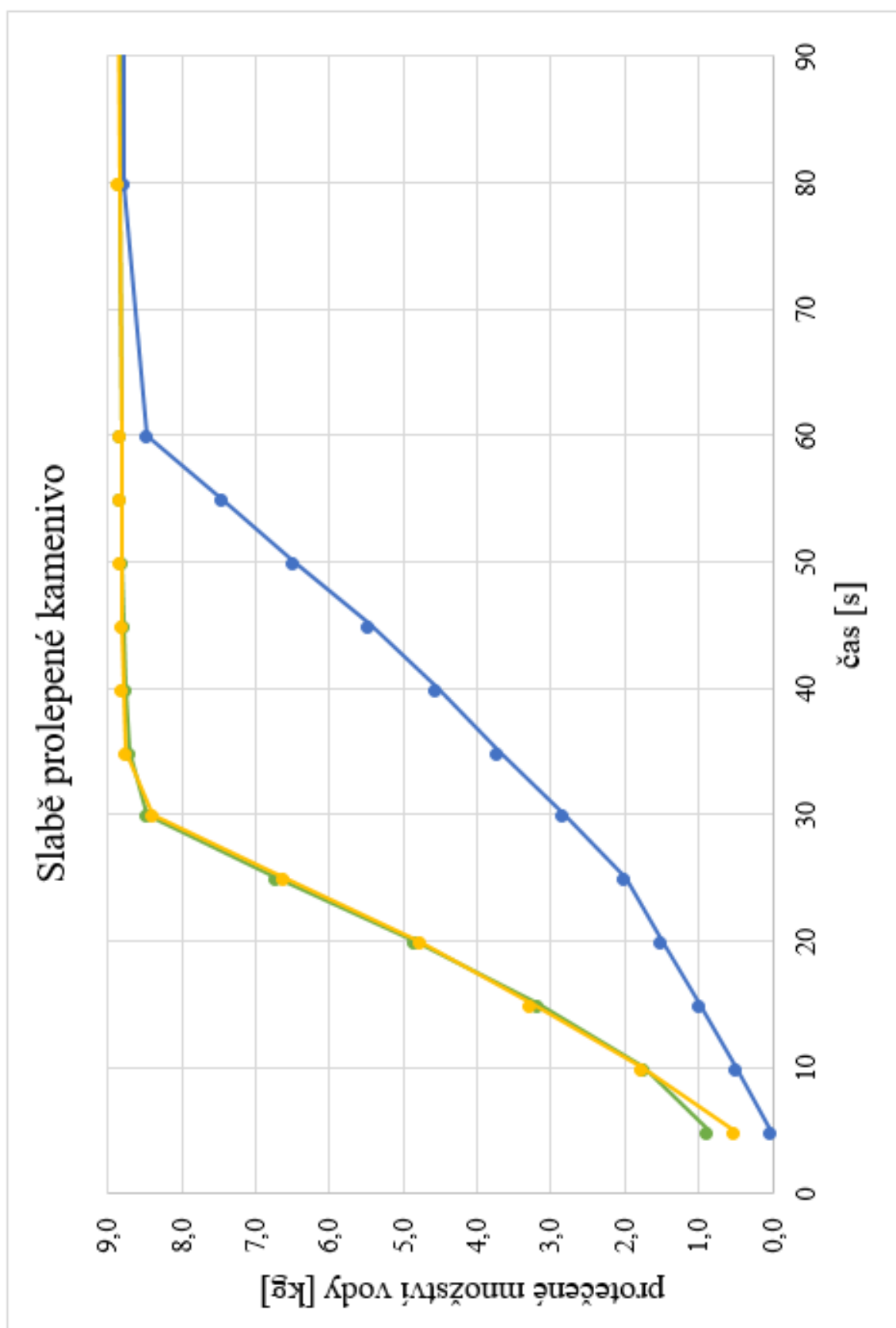
	[sec]	1. měření [kg]	2. měření [kg]	3. měření [kg]	průměr [kg]
	5	0,87	0,02	0,51	0,47
	10	1,74	0,49	1,77	1,33
	15	3,17	0,99	3,27	2,48
	20	4,83	1,49	4,77	3,70
	25	6,71	1,99	6,60	5,10
	30	<b>8,46</b>	2,82	<b>8,38</b>	6,55
	35	8,70	3,71	8,75	7,05
	40	8,75	4,54	8,79	7,36
	45	8,78	5,46	8,80	7,68
	50	8,80	6,47	8,81	8,03
	55	8,82	7,45	8,82	8,36
1 min.	60	8,82	<b>8,47</b>	8,82	8,70
	80	8,83	8,78	8,84	8,82
	100	8,84	8,79	8,85	8,83
2 min.	120	8,84	8,80	8,86	8,83
	150	8,85	8,81	8,86	8,84
3 min.	180	8,85	8,82	8,86	8,84
5 min.	300	8,86	8,83	8,87	8,85

Tab. 10: Naměřené hodnoty při prolévání slabě prolepeného kameniva

### SLABĚ PROLITÉ KAMENIVO

	1. měření	2. měření	3. měření
hmotnost suchého [kg]	17,33	17,45	17,45
hmot. suchého s pryskyřicí [kg]	17,56	17,65	17,61
hmotnost mokrého [kg]	17,65	17,73	17,71
vydatnost [l/s]	0,28	0,14	0,28
rychlost průsaku [mm/s]	6,0	3,0	5,9

Tab. 11: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u slabě prolepeného kameniva



Graf 4: Grafické znázornění protečeného množství vody slabě prolepeným kamenivem

## STŘEDNĚ PROLEPENÉ KAMENIVO

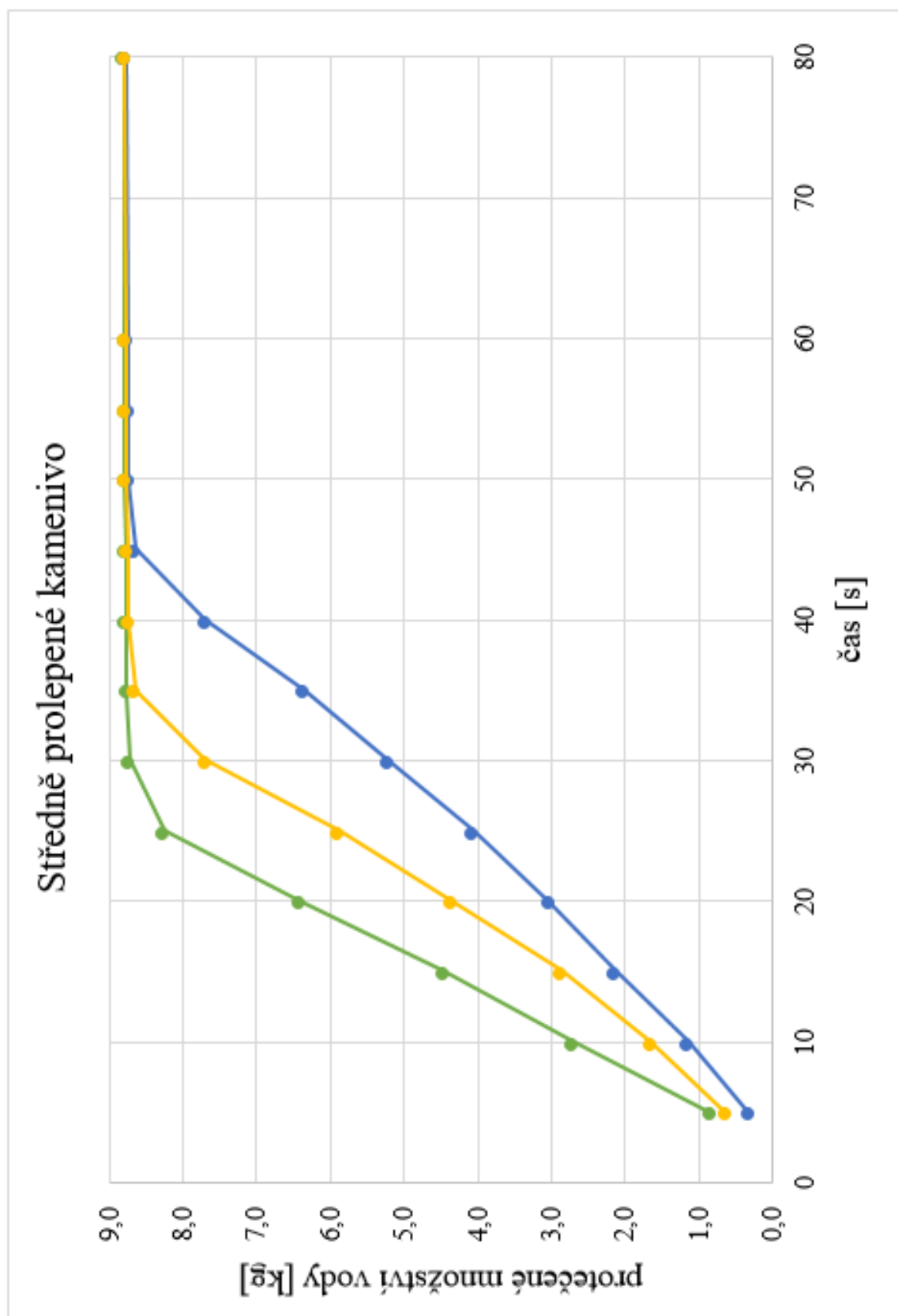
	[sec]	1. měření [kg]	2. měření [kg]	3. měření [kg]	průměr [kg]
	5	0,84	0,33	0,64	0,60
	10	2,71	1,15	1,65	1,84
	15	4,47	2,14	2,86	3,16
	20	6,40	3,03	4,35	4,59
	25	<b>8,26</b>	4,06	5,89	6,07
	30	8,72	5,22	7,70	7,21
	35	8,76	6,35	8,65	7,92
	40	8,78	7,69	8,73	8,40
	45	8,78	<b>8,64</b>	8,75	8,72
	50	8,79	8,73	8,77	8,76
	55	8,79	8,74	8,78	8,77
1 min.	60	8,79	8,75	8,78	8,77
	80	8,80	8,77	8,79	8,79
	100	8,80	8,78	8,82	8,80
2 min.	120	8,81	8,78	8,83	8,81
	150	8,81	8,79	8,84	8,81
3 min.	180	8,82	8,80	8,85	8,82
5 min.	300	8,82	8,83	8,87	8,84

Tab. 12: Naměřené hodnoty při prolévání středně prolepeného kameniva

## STŘEDNĚ PROLEPENÉ KAMENIVO

	1. měření	2. měření	3. měření
hmotnost suchého [kg]	17,25	17,25	17,25
hmot. suchého s pryskyřicí [kg]	17,73	17,57	17,52
hmotnost mokrého [kg]	17,82	17,67	17,61
vydatnost [l/s]	0,33	0,19	0,26
rychlost průsaku [mm/s]	7,0	4,1	5,4

Tab. 13: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u středně prolepeného kameniva



Graf 5: Grafické znázornění protečeného množství vody středně prolepeným kamenivem



### SILNĚ PROLITÉ KAMENIVO

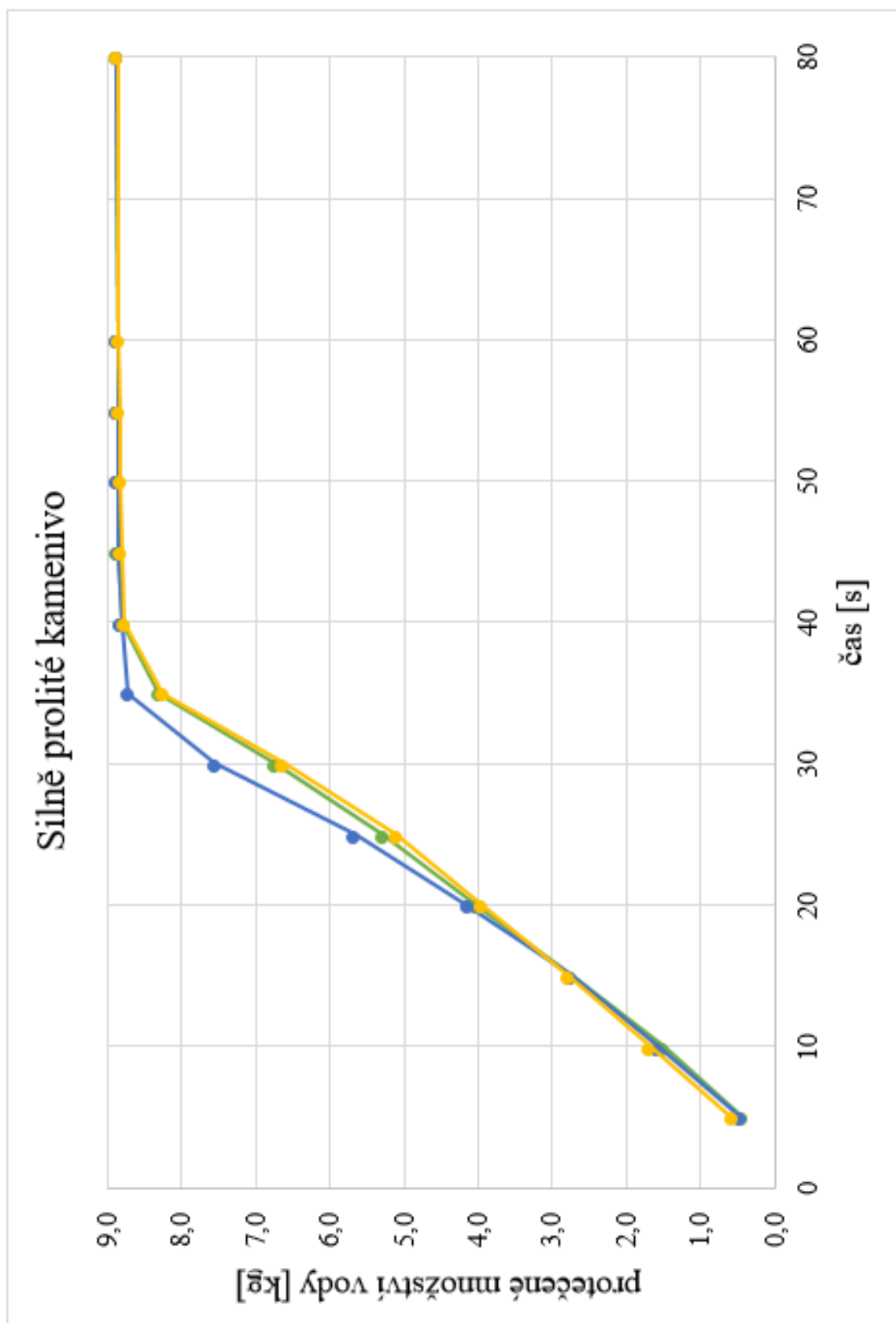
	[sec]	1. měření [kg]	2. měření [kg]	3. měření [kg]	průměr [kg]
	5	0,43	0,46	0,57	0,49
	10	1,50	1,57	1,68	1,58
	15	2,75	2,74	2,78	2,76
	20	4,02	4,14	3,94	4,03
	25	5,28	5,66	5,10	5,35
	30	6,74	7,55	6,62	6,97
	35	8,30	8,72	8,25	8,42
	40	8,82	8,82	8,77	8,80
	45	8,86	8,85	8,82	8,84
	50	8,86	8,86	8,83	8,85
	55	8,86	8,86	8,84	8,85
1 min.	60	8,87	8,87	8,85	8,86
	80	8,88	8,88	8,86	8,87
	100	8,89	8,88	8,86	8,88
2 min.	120	8,90	8,89	8,87	8,89
	150	8,90	8,89	8,87	8,89
3 min.	180	8,90	8,90	8,88	8,89
5 min.	300	8,91	8,90	8,89	8,90

Tab. 15: Naměřené hodnoty při prolévání silně prolepeného kameniva

### SILNĚ PROLITÉ KAMENIVO

	1. měření	2. měření	3. měření
hmotnost suchého [kg]	17,45	17,45	17,45
hmot. suchého s pryskyřicí [kg]	17,87	17,87	17,87
hmotnost mokrého [kg]	17,45	17,93	17,93
vydatnost [l/s]	0,22	0,25	0,24
rychlost průsaku [mm/s]	4,7	5,3	5,0

Tab. 14: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u silně prolepeného kameniva



Graf 6: Grafické znázornění protečeného množství vody silně prolepeným kamenivem

Ze získaných výsledků lze vyvodit závěr, že ošetření zrn štěrkového lože pryskyřicí Geoflex BB ani v jednom stupni síly prolepení, nikterak neomezuje průtok vody. Je tak vyvráceno tvrzení, že prolepení zabraňuje odvodu srážkových vod. Z grafu je vidět, že prostup vody ošetřeným kamenivem byl o něco málo rychlejší, než tomu bylo u vzorku s neošetřenými zrny. Toto však může být zapříčiněno větší hodnotou vydatnosti. Zjednodušeně řečeno, rychlejšímu průtoku vody přes zrnitý balast obalený pryskyřičnou směsí může pomáhat i fakt, že zrna jsou po zatvrdnutí v podstatě obalena hladkou plastovou vrstvou, po níž voda sklouzne podobně jako po vosku. Štěrka má tedy menší drsnost než v původním stavu a klade tak vodě menší odpor.



Graf 7: Grafické zobrazení průměrných hodnot protečeného množství vody v závislosti na čase

Už při vývoji samotné metody bylo bráno za úkol neomezit propustnost vody přes strukturně prolepený balast a celkově nezhoršit jeho vlastnosti. Základním principem ballast bondingu je pouze vytvoření pevného spojení na kontaktech zrn, nikoliv celková injektáž prostoru mezi zrny. Fakt, že průtočnost vody zrnitým balastem není nikterak ovlivněna potvrzuje i výsledek provedené zkoušky. Z celkového hlediska tedy ani při vydatných dešťových srážkách nedochází k negativní změně drenážní schopnosti kolejového lože za předpokladu jeho pravidelné údržby a čištění.

Pro výpočet hodnoty vydatnosti u každého měření, byl použit tento vzorec:

$$\text{vydatnost} = \frac{\text{množství proteklé vody [l]}}{\text{čas zastavení lití [s]}} [\text{l/s}]$$

Pro výpočet rychlosti průsaku každého měření, byl použit tento vzorec a jeho výsledek je pro lepší představu malých hodnot uváděn v milimetrech za sekundu:

$$\text{rychlost průsaku} = \frac{\text{vydatnost [m}^3/\text{s]}}{\text{plocha [m}^2\text{]}} * 1000 [\text{mm/s}]$$

## 4.2 Zkouška únosnosti statickou zatěžovací deskou

Po prolepení zrn šterku frakce 32-63 používaného v konstrukci kolejového lože se předpokládá nárůst modulu pružnosti E. K ověření této teorie byla použita statická zatěžovací zkouška, která byla provedena v souladu s předpisem S4 Správy železničních dopravních cest.

Tato zkouška měla původně proběhnout in-situ na stavbě přechodu na a z pevné jízdní dráhy v ostravské ulici Plzeňská, kde se měla použít i dvousložková organicko-minerální pryskyřice Geoflex BB. Naneštěstí se kvůli nezbytným budoucím úpravám na poslední chvíli aplikace odložila na jaro 2018. Proto měření proběhlo v areálu Báňské záchranné služby v Ostravě Radvanicích.

### 4.2.1 Provedení a průběh zkoušky

Celkem byly venku měřeny čtyři připravené vzorky o rozměrech 50x50 cm na plochu a 30 cm na hloubku. Tři z těchto vzorků byly ošetřeny přípravkem Geoflex BB a čtvrtý vzorek pro srovnání byl neprolepený. Pro zajištění plného dosednutí kruhové zatěžovací desky na hrubozrnný materiál byl proveden pískový podsyp o tloušťce v řádu milimetrů. Jako protizátěž sloužil lžicový nakladač. Časová náročnost jednoho měření se průměrně pohybovala okolo jedné hodiny.

Každá zkouška proběhla ve dvou cyklech. Součástí jednoho cyklu je zatížení a následné odtížení, přičemž se kontaktní napětí zvyšuje a snižuje krokově vždy po padesáti kilopascalech,



Obr. 12: Měření statickou zatěžovací deskou

což zhruba odpovídá váze okolo pěti tun. Před samotným měřením se musí nechat deska a další části měřicího zařízení ustavit a dosednout. Maximální limitní zatížení je předpisem S4 SŽDC stanoveno na 200 kilopascalů. [9, 14]

#### 4.2.2 Výsledek

Výsledky statické zatěžovací zkoušky jsou reprezentovány grafy a tabulkami vycházejících z naměřených hodnot. Každý graf znázorňuje závislost mezi kontaktním napětím pod deskou a jejím zatlačením. Výsledky jsou uvedeny v pořadí od neprolepeného kameniva, po nejsilněji prolepené. Součástí každé tabulky jsou hodnoty modulů přetvárnosti, jež byly vypočteny podle těchto vzorců:

$$E_1 = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{y_1} \quad [3]$$

$$E_0 = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{y_2} \quad [14]$$

$$E_2 = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{y_2} \quad [3]$$

$E_1, E_2$  modul přetvárnosti z prvního a druhého zatěžovacího cyklu [MPa]

$E_0$  modul přetvárnosti dle předpisu S4 SŽDC [MPa]

$p$  maximální kontaktní napětí [MPa]

$r$  poloměr zatěžovací desky [mm]

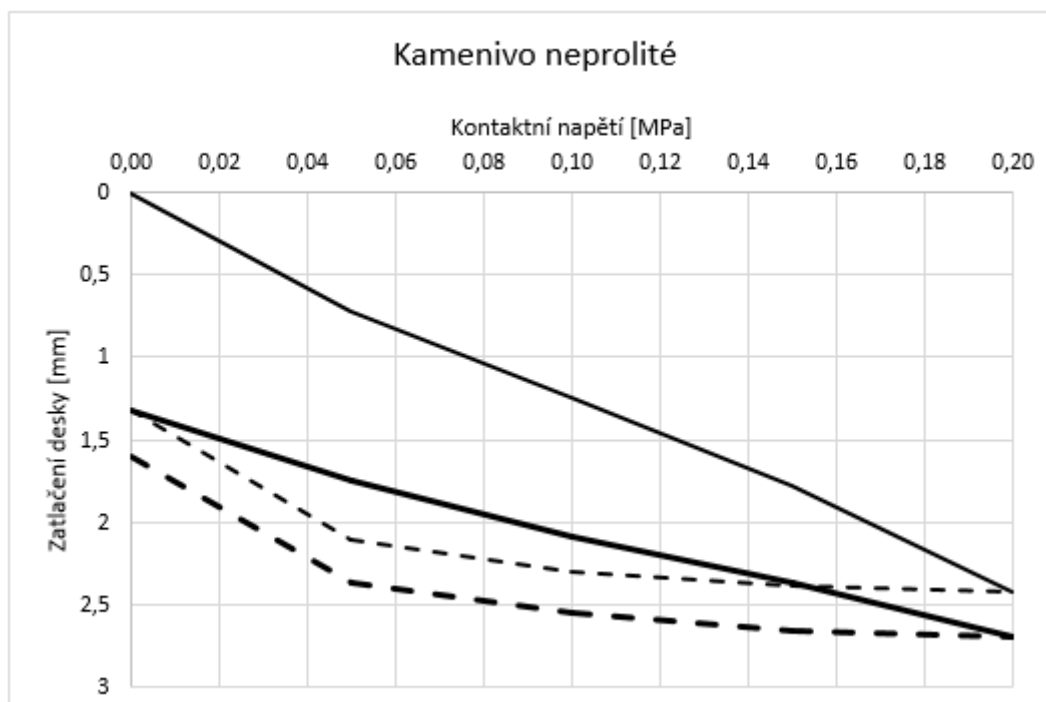
$y_1, y_2$  zatlačení zatěžovací desky při prvním a druhém zatěžovacím cyklu [mm]

Kamenivo neprolité			
Bod číslo	Fáze zkoušky	Kontaktní napětí p [MPa]	Zatlačení desky y [mm]
1	První zatěžovací cyklus	0,00	0
2		0,05	0,72
3		0,10	1,24
4		0,15	1,78
5		0,20	2,42
6	Odlehčení	0,15	2,38
7		0,10	2,3
8		0,05	2,1
9		0,00	1,32
10	Druhý zatěžovací cyklus	0,05	1,75
11		0,10	2,09
12		0,15	2,37
13		0,20	2,69
14	Odlehčení	0,15	2,66
15		0,10	2,55
16		0,05	2,37
17		0,00	1,6

modul pružnosti z 1. zatěžování	E1	18,5	[MPa]
modul pružnosti z 2. zatěžování	E2	32,52	[MPa]
poměr modulů pružnosti	E2/E1	1,76	
modul pružnosti dle S4 SŽDC	E dle S4	32,85	[MPa]

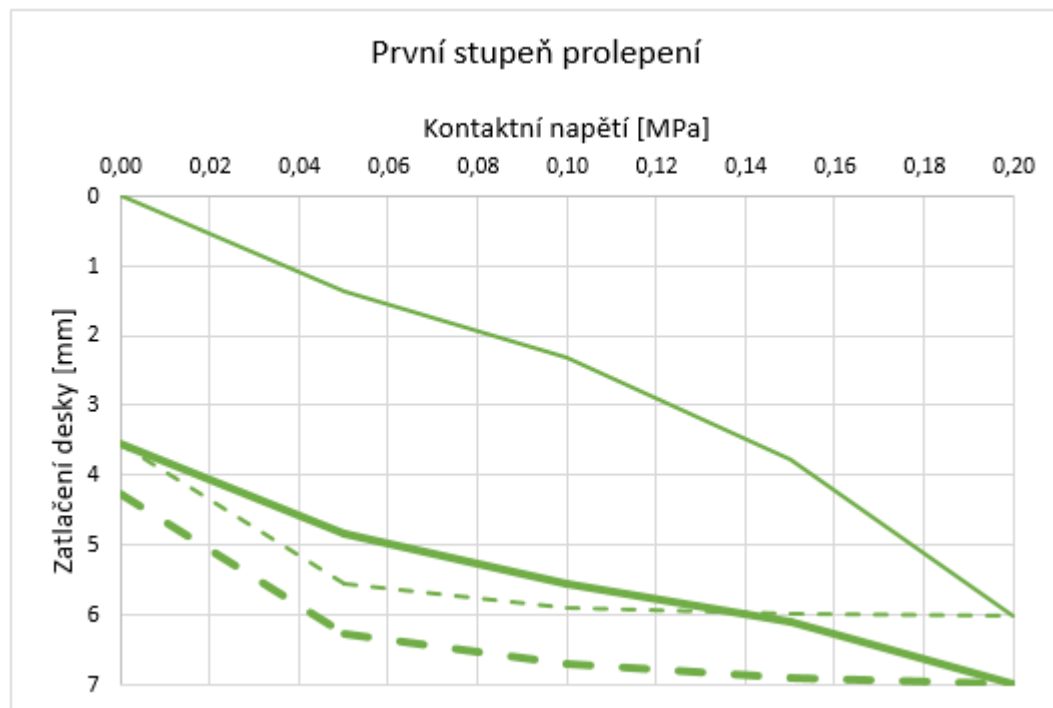
Tab. 16: Naměřené hodnoty pro kamenivo neprolité



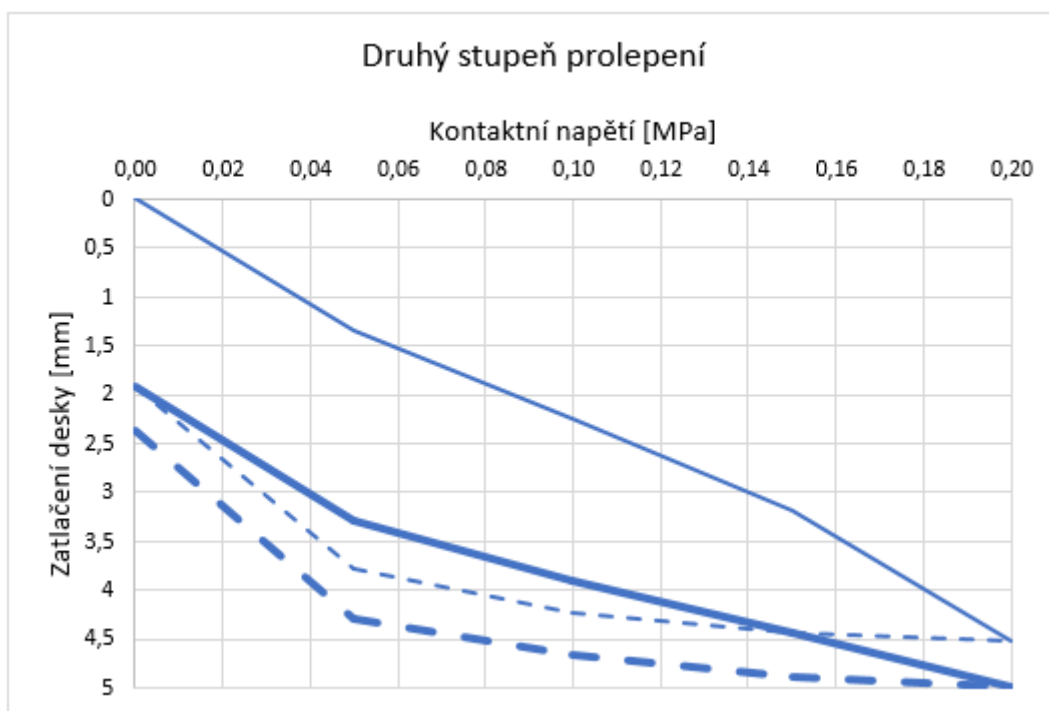
Graf 8: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot pro kamenivo neprolité

Stupeň prolepení kameniva:			I.	II.	III.	
Bod číslo	Fáze zkoušky	Kontaktní napětí p [MPa]	Zatlačení desky y [mm]	Zatlačení desky y [mm]	Zatlačení desky y [mm]	
1	První zatěžovací cyklus	0,00	0	0	0	
2		0,05	1,37	1,34	0,42	
3		0,10	2,31	2,24	0,80	
4		0,15	3,78	3,19	1,19	
5		0,20	6,02	4,51	1,65	
6	Odlehčení	0,15	5,99	4,43	1,55	
7		0,10	5,89	4,24	1,44	
8		0,05	5,55	3,79	1,12	
9		0,00	3,55	1,92	0,37	
10	Druhý zatěžovací cyklus	0,05	4,84	3,28	0,80	
11		0,10	5,54	3,90	1,15	
12		0,15	6,11	4,43	1,43	
13		0,20	6,99	4,98	1,71	
14	Odlehčení	0,15	6,90	4,88	1,63	
15		0,10	6,69	4,66	1,45	
16		0,05	6,27	4,30	1,14	
17		0,00	4,27	2,37	0,44	
užnosti z 1. zatěžování		E1	7,36	9,73	27,27	[MPa]
užnosti z 2. zatěžování		E2	12,92	14,34	33,41	[MPa]
modulů pružnosti		E2/E1	1,76	1,47	1,23	
užnosti dle S4 SŽDC		E dle S4	13,08	14,71	33,58	[MPa]

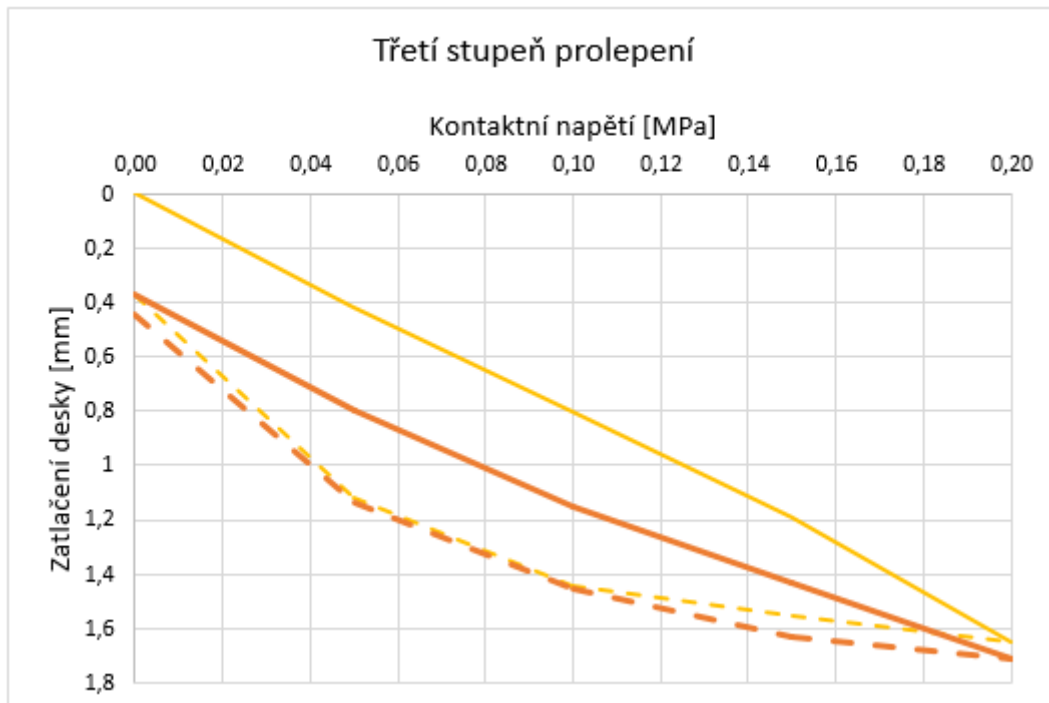
Tab. 17: Naměřené hodnoty pro kamenivo prolepené ve stupních



Graf 9: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při prvním stupni prolepení

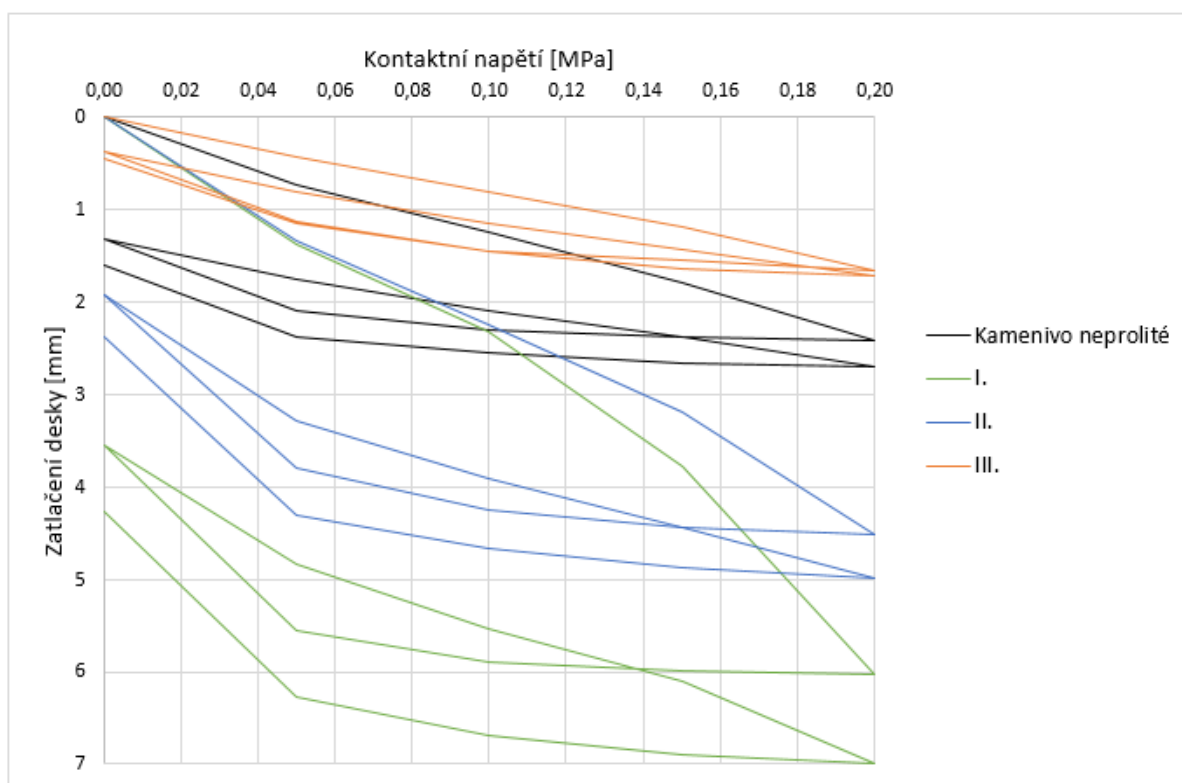


Graf 10: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při druhém stupni prolepení



Graf 11: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při třetím stupni prolepení





Graf 12: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot v jednom grafu

Z uvedených výsledků je jisté, že modul pružnosti roste téměř přímo úměrně se stupněm prolití. Tedy čím více pryskyřice je aplikováno na štěrk, tím vyšší modul přetvárnosti se dá očekávat. Prolepená struktura je pevnější a zatlačení desky je menší. Paradoxně výsledky ukazují vysoké hodnoty modulu pružnosti také pro kamenivo neošetřené pryskyřicí Geoflex BB. K tomuto došlo z důvodu, že při ustavování zatěžovací desky bylo kamenivo příliš uboucháno. Dá se tedy říci, že vzorek byl zhutněn na rozdíl od vzorků prolitých. Postupného nárůstu modulu přetvárnosti se stupněm prolití lze využít při výstavbě přechodu kolejové tratě na pevnou jízdní dráhu, jako například již na zmíněném příkladu rekonstrukce mostů na ulici Plzeňská v Ostravě. S výhodou lze využít různé stupně prolití také jako alternativní zhutnění.

## 5. Závěr

Diplomová práce si kladla za cíl ověřit změnu vlastností štěrkového lože vlivem prolití dvousložkovou organicko-minerální pryskyřicí Geoflex BB při aplikaci u metody ballast bonding. Především za účelem ballast bondingu byl Geoflex BB vyvinut. Je důležité podotknout, že ballast bonding se zásadně liší od injektáže. Nedochází totiž k úplnému vyplnění mezer mezi zrny, jako při injektáži nýbrž pouze ke zpevnění na kontaktech zrn. V praktické části diplomové práce bylo zjišťováno, jaká je míra vlivu prolití pryskyřicí na štěrkové kolejové lože. Zda jeho vlastnosti zhoršuje či naopak zlepšuje. Konkrétně se praktickou zkouškou ověřil volný průtok vody přes prolepený štěrk a porovnaly se rozdíly v deformacích po zatížení statickou zatěžovací deskou. Ostatní plánované zkoušky Geoflexu BB na štěrkovém loži byly po konzultaci posouzeny jako nadbytečné (mrazuvzdornost), neproveditelné (nárůst soudržnosti a úhlu vnitřního tření) nebo se jejich realizace neuskutečnila vzhledem k odsunutí realizace ballast bondingu na reálné stavbě na jaro 2018 (tlumení vibrací).

Praktické zkoušky se prováděly vždy na čtyřech variantách vzorků, kdy první demonstroval obyčejný balast a zbylé tři balast prolitý pryskyřicí Geoflex BB ve třech stupních intenzity. Intenzita prolití se odvíjela od návrhu na reálné stavbě v Ostravě, kde se bude ballast bonding realizovat na jaře 2018. Tudíž, přestože to bylo v plánu, nebylo možné udělat zkoušky in-situ. Prioritou bylo ověření, zda prolepené kamenivo frakce 32-63 nebrání přirozenému protečení vody svou strukturou. Tímto časově náročným zkoušením bylo zjištěno, že pryskyřice, jež pevně pojí zrna štěrku jen na jeho kontaktech s ostatními zrny, není žádnou překážkou pro odvod vody. Lze tedy vyvodit závěr, že v reálné situaci in-situ, bude prolepený balast propouštět vodu stejně dobře, jako je tomu u přirozeného, pryskyřicí neošetřeného kameniva. Tento fakt je samozřejmě platný pod podmínkou, že bude dodržena předepsaná údržba čistoty kolejového lože. Detailní popis zkoušky včetně naměřených hodnot uvádí kapitola 4.1.

Na rozdíl od předchozí zkoušky prolití vody, která probíhala v laboratoři, se zkouška statickou zatěžovací deskou konala venku. Měřeny byly opět čtyři vzorky, tentokrát připravené firmou Minova. Už při měření prolitých vzorků byl zjevný stupňovitý nárůst pevnosti. S rostoucím obsahem pryskyřice na vzorku bylo pozorováno nižší zatlačení statické zatěžovací desky. Výsledkem zkoušky bylo zjištění postupného nárůstu modulu přetvárnosti u prolitých vzorků, což poukazuje na příznivý vliv prolepení, které zpevňuje celkovou strukturu nasypaného kameniva. Stupněm prolití se dá eliminovat nedokonalost zhutnění. Naměřené hodnoty a popis průběhu zkoušky uvádí kapitola 4.2.

Možnosti využití materiálu Geoflex BB u ballast bondingu rozhodně nekončí. Tato pryskyřice smíchaná ze speciálního sodného vodního skla s přísadami a modifikovaného obarveného isokyanátu nachází využití i v dalších oblastech, kde je důležité zachování kompaktní struktury zrnitého balastu a propustnost této struktury pro vodu. Může se jednat o prevenci eroze u nezpevněných pozemních komunikací. Nebo již zmíněné řešení přechodové zóny na pevnou jízdní dráhu. Nabízí se i jako řešení pro usnadnění čištění šterkového kolejového lože nebo dočasné řešení v situacích, kde je třeba zpevněný povrch jen po dobu výstavby. Do určité míry slouží také jako prevence vandalismu. Při použití menší frakce kameniva je využití možné i při zpevnění pěšin pro chodce či cyklisty. U silnějšího prolepení ve formě by se mohlo jednat o napodobení gabionu. Na stavbách silničního typu by připadalo v úvahu prolepení šterkových žeber zpevňujících svahy zářezů. Prolité kamenivo může sloužit jako typ stabilní zpevněné drenáže. Dalo by se uvažovat také o zpevnění koryta vodního toku. Vzhledem ke své nenasákavosti by Geoflex BB mohl plnit částečně i izolační funkci.

Pro další zkoušky by mohlo být zajímavé ověřit stálost vlastností vytvrzeného Geoflexu BB po dlouhodobém působení UV záření. Při stabilizaci kamenitého násypu na mořském pobřeží, pro lepší odolnost vlnám, by mohlo být zjištěno, zda slaná voda není pro pryskyřici příliš agresivní. Taktéž obdobně se může ověřit stálost vlastností při trvalém ponoření do vody, zda se z Geoflexu BB nezačnou uvolňovat chemické sloučeniny. Popřípadě by bylo zajímavé vyzkoušet odolnost proti tření.

Podstatnou výhodou provádění ballast bondingu s pryskyřicí Geoflex BB je určité časová nenáročnost a životnost nad dvacet let. Provedení je rychlé, protože aplikace je jednoduchá, nemá moc omezujících podmínek a pryskyřice Geoflex BB rychle tuhne, má dobrou přilnavost, skvělou penetrační schopnost a prakticky po asi třiceti minutách v závislosti na okolní teplotě vytvoří na kontaktech zrn vysoce pevné spojení. Po finanční stránce může být toto řešení vhodné a efektivní, zejména při uvažování časové úspory. Z hlediska ekologie a ochrany přírody je ztuhlý Geoflex BB neškodlivý, nevydává žádný nepříjemný zápach, ani se nemění zpět na tekuté skupenství. Jeho šedá barva splývá se šterkovým balastem, což je také výhodou, dbá-li se i na vizuální dojem. Dalším benefitem je chování Geoflexu BB v přítomnosti vody, s kterou prakticky nereaguje a nezabraňuje jejímu průtoku, jelikož není nasákavý a nenapěňuje. Je dobře odolný při dynamickém namáhání. Ani rozpojení slepeného kameniva není problematické. Po rozbití slepené struktury je možno zrna znovu pryskyřicí ošetřit a vrátit tak šterku jeho kompaktnost.

Oproti mnoha výhodám pryskyřice Geoflex BB má tato směs i své nevýhody. Jedná se o omezení aplikace teplotním rozpětím, jenž se pohybuje od plus patnácti do plus třiceti stupňů celsia. Při nedodržení tohoto rozmezí nemusí být zaručeny ideální vlastnosti. Pryskyřice může například tuhnout moc rychle nebo nedosáhne dané pevnosti. Pokud se jedná o chemické tekuté složky, nesmějí uniknout do kanalizace. Důležitým kritériem funkčnosti ballast bondingu je především čistota šterku před aplikací pryskyřice. Nesmí být zanesen hlínou, ani jiným odpadem. Při vlhkém kamenivu je snížena přilnavost Geoflexu BB, tudíž by mělo před aplikací být kamenivo suché. Za podmínek dodržení správného technologického postupu jsou tyto nevýhody nevýznamné.

Závěrem lze konstatovat, že poměrně nový materiál Geoflex BB určený k ballast bondingu má na šterkové lože příznivý vliv. Zpevňuje jeho strukturu a zároveň neomezuje volný průtok vody, což je nezbytná vlastnost lože. Dvousložková, organicko-minerální, plastifikovaná pryskyřice Geoflex BB má celou řadu předností a nevýhody se dají dodržáním správného postupu zcela eliminovat. Díky časové nenáročnosti a jednoduchosti provedení se s tímto materiálem bude nadále s výhodou pracovat i v budoucnosti s širším spektrem jeho použití.

## 6. Seznam použitých pramenů

### Seznam použité literatury:

- [1] *Ballast stabilisation for tracks and points*. Germany: Goldschmidt Thermit Railservice GmbH.
- [2] ČIHÁK, Jan. *Závady na železničním svršku*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2012.
- [3] ČSN 72 1006. *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [4] ČSN EN 13 450. *Kamenivo pro kolejové lože*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] EUROVIA Kamenolomy, a.s. *Normy ČSN EN*. Dostupné na: <http://www.euroviakamenolomy.cz>
- [6] Geologie.vsb.cz. *Posouzení charakteristik některých zemin*. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/CviceniInzenyrskaGeologie/KAPITOLY/9\\_Orientacni%20char/9%20kap\\_orient\\_char\\_v13ma.htm](http://geologie.vsb.cz/CviceniInzenyrskaGeologie/KAPITOLY/9_Orientacni%20char/9%20kap_orient_char_v13ma.htm)
- [7] KRUYŃSKI, Marek a GISTEREK, Igor. *Zkoušky a analýza efektů stabilizace železničního svršku*. Wrocław, 2008.
- [8] LAKUŠIĆ, Stjepan a AHAC, Maja a HALADIN, Ivo. *Track stability using ballast bonding method*. University of Zagreb, 2010.
- [9] MOHYLA, Marek. *Silniční a geotechnická laboratoř: Statická zatěžovací zkouška, podklady do cvičení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2014.
- [10] Návod k použití. *Geoflex BB – Dvousložková organicko-minerální pryskyřice*. Minova Bohemia s.r.o. 2016.
- [11] PLÁŠEK, Otto. *Konstrukce železničního svršku – Kolejové lože*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.

- [12] PLICKA, Tomáš. *Stabilizace kolejového lože technologií lepení štěrku pryskyřicí*. Časopis Inženýrské stavby, 2016.
- [13] Předpis ČD S3, část 10: *Kolejové lože a jeho uspořádání*. Praha: České Dráhy, 2003.
- [14] Předpis S4 SŽDC. *Železniční spodek* Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2008.
- [15] Předpis SŽDC. *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2013.
- [16] Referenční list. *Silikátová pryskyřice Geoflex BB pro konsolidaci nebo zpevnění nesoudržných povrchů*. Minova Bohemia s.r.o. 2016.
- [17] SZABÓ, József a SZABÓ, József. *Možnosti použití technologie lepení štěrku*. Technical and Economic University of Budapest, 2007.
- [18] Technický list. *Geoflex BB – Dvousložková organicko-minerální pryskyřice*. Minova Bohemia s.r.o. 2016.
- [19] WILLE, Nicolas a Karl STRANG a Tobias BLÄTGEN. *Overview of the market for ballast bonding in Europe*. Cologne, 2016.
- [20] Protokol o zkouškách kameniva. *Kamenivo pro kolejové lože*. Zkušebna kamene a kameniva, s.r.o. 2016.
- [21] Technické podmínky úpravy zemin. *TP 94 Úprava zemin – technické podmínky*. Ministerstvo dopravy a Arcadis a.s. 2013.
- [22] PLÁŠEK, Otto. *Železniční stavby 2 – modul 5: Únosnost železničního svršku a pevná jízdní dráha*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.

## Seznam obrázků:

Obr. 1: Ballast bonding, aplikace pryskyřice Geoflex BB [18] .....	1
Obr. 2: Příklad rozsahu použití pojiv pro úpravu zemin [6] .....	3
Obr. 3: Schéma prolité struktury zrn [18] .....	4
Obr. 4: Vlevo povrchové prolití, Německo [12], vpravo strukturní prolití, ČR [12].....	7
Obr. 5: Rozdělení drážního tělesa na železniční svršek a železniční spodek [14] .....	13
Obr. 6: Certifikační lístek potvrzující základní charakteristiky kameniva z lomu Jakubčovice nad Odrou .....	18
Obr. 7: Oba mosty na ulici Plzeňská jsou v mapě vyznačeny červeným lemováním.....	19
Obr. 8: Schéma jednotlivých stupňů prolití na úseku před pevnou jízdní dráhou .....	20
Obr. 9: Fotodokumentace měření v laboratoři: 1) po prolití pryskyřicí 2) improvizované místo k měření 3) slepený konglomerát 4) čerstvá pryskyřice prokapávající drátěným dnem 5) neucpané dno po nejsilnějším stupni prolepení 6) pryskyřice přilnula velmi dobře i ke dnu plastových kelímků 7) čištěním od prachu před měřením prošly dvě dvacetilitrové nádoby plné kameniva 8) nejčistší voda ze všech měření byla po prolití nejsilněji prolepeného vzorku ...	24
Obr. 10: Test prolití nanečisto pro ověření chování pryskyřičné směsi .....	25
Obr. 11: Slepéné konglomeráty, zleva od nejslaběji prolepeného po nejsilněji prolepený vzorek .....	27
Obr. 12: Měření statickou zatěžovací deskou .....	38

## Seznam tabulek:

Tab. 1: Technická data složek A a B [18] .....	10
Tab. 2: Reakční data Geoflexu BB [18] .....	10
Tab. 3: Mechanická data Geoflexu BB [18] .....	12
Tab. 4: Některé výhody a nevýhody pevné jízdní dráhy [22] .....	21
Tab. 5: Přepočet nutného množství materiálu pro prolití v laboratoři .....	26
Tab. 6: Zjištění potřebného objemu materiálu dle váhy dávky .....	26
Tab. 7: Váhy slepených kusů po prolepení .....	27
Tab. 8: Naměřené hodnoty při prolévání neošetřeného kameniva vodou .....	28
Tab. 9: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u neošetřeného kameniva .....	28
Tab. 10: Naměřené hodnoty při prolévání slabě prolepeného kameniva .....	30

Tab. 11: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u slabě prolepeného kameniva .....	30
Tab. 12: Naměřené hodnoty při prolévání středně prolepeného kameniva.....	32
Tab. 13: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u středně prolepeného kameniva .....	32
Tab. 15: Hmotnost vzorku před a po prolití, vydatnost a rychlost průsaku u silně prolepeného kameniva .....	34
Tab. 14: Naměřené hodnoty při prolévání silně prolepeného kameniva.....	34
Tab. 16: Naměřené hodnoty pro kamenivo neprolité.....	39
Tab. 17: Naměřené hodnoty pro kamenivo prolepené ve stupních.....	40

### **Seznam grafů:**

Graf 1: Křivka zrnitosti propadu kameniva pro kolejové lože [20] .....	14
Graf 2: Členění druhů zemin dle namrzavosti [14].....	15
Graf 3: Grafické znázornění protečeného množství vody neošetřeným kamenivem.....	29
Graf 4: Grafické znázornění protečeného množství vody slabě prolepeným kamenivem.....	31
Graf 5: Grafické znázornění protečeného množství vody středně prolepeným kamenivem ...	33
Graf 6: Grafické znázornění protečeného množství vody silně prolepeným kamenivem .....	35
Graf 7: Grafické zobrazení průměrných hodnot protečeného množství vody v závislosti na čase .....	36
Graf 8: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot pro kamenivo neprolité.....	39
Graf 9: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při prvním stupni prolepení .....	40
Graf 10: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při druhém stupni prolepení.....	41
Graf 11: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při třetím stupni prolepení .....	41
Graf 12: Grafické vyhodnocení naměřených hodnot v jednom grafu.....	42